

MARIA MADALENA SANTOS DA SILVA

**METODOLOGIA PARA A CRIAÇÃO DE UM LABORATÓRIO PARA
CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES HORIZONTAL E
VERTICAL, DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS**

**Tese apresentada como requisito parcial à
obtenção do grau de Doutor em Ciências
Geodésicas, no Programa de Pós-Graduação em
Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra,
Universidade Federal do Paraná.**

Orientador: Luís Augusto Koenig Veiga

**Curitiba
Agosto, 2008**

FICHA CATALOGRÁFICA

S586m Silva, Maria Madalena Santos da
Metodologia para a criação de um laboratório para classificação das
componentes angulares horizontal e vertical, de teodolitos e estações totais
[manuscrito] / Maria Madalena Santos da Silva. – 2008.
i-xvii, 159f. : il. color. ; 30 cm.

Impresso.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-
graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra, 2008.
“Orientador: Luís Augusto Koenig Veiga”.

Bibliografia: f. 137-141.

1. Geodésia. 2. Levantamentos topográficos. 3. Teodolitos. 4.
Laboratórios - Testes de materiais. I. Universidade Federal do Paraná. II.
Veiga, Luís Augusto Koenig. III. Título.

CDD: 665.5

Bibliotecário: Arthur Leitis Junior - CRB 9/1548

TERMO DE APROVAÇÃO

MARIA MADALENA SANTOS DA SILVA SKLARSKI

"METODOLOGIA PARA A ADAPTAÇÃO E CRIAÇÃO DE UM LABORATÓRIO
PARA CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES (HORIZONTAL E
VERTICAL) DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS"

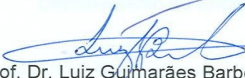
Tese nº 62 aprovada como requisito parcial do grau de Doutor no Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga – Orientador e Presidente (UFPR)



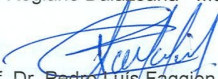
Prof. Dr. Edvaldo Simões da Fonseca Junior – Membro (USP)



Prof. Dr. Luiz Guimarães Barbosa - Membro (UFRRJ)



Profª. Drª. Regiane Dalazoana - Membro (UFPR)



Prof. Dr. Pedro Luis Faggion (UFPR)



Prof. Dr. Carlos Aurélio Nadal (UFPR)

Curitiba, 31 de outubro de 2008.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à Mariana e Germano, que me estimularam a buscar vida nova a cada dia. Meu eterno agradecimento por terem aceito se privar da minha companhia pelos estudos, me permitindo realizar meu objetivo.

O segredo é não correr atrás das borboletas... É cuidar do jardim para que elas venham até você.

Mário Quintana

AGRADECIMENTOS

Ao Prof^o. Dr^o. Luís Augusto Koenig Veiga, apoio e orientação deste trabalho, e acima de tudo pela amizade, respeito e disposição em realizar este trabalho.

Aos professores: Pedro Luís Faggion e Carlos Aurélio Nadal pelo fornecimento de material bibliográfico, discussões pertinentes ao trabalho e incentivo da pesquisa.

Ao curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo fornecimento da bolsa de estudo.

A AVR Instrumental, pela confecção da barra em alumínio utilizada no Método da Barra.

A Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná pela aquisição dos colimadores Leica.

A todos os professores do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas, pela contribuição durante todos os anos de minha formação.

Aos amigos do Laboratório de Topografia: Sr. Elberto e Plínio, pela grande colaboração no desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os colegas do curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas da Universidade Federal do Paraná pelo convívio saudável, a amizade e discussões do trabalho.

Aos grandes amigos: Fabiani Miranda, Maria de Lourdes Aquino, Mariney Nunes, Regiane Dalazoana, Niárkios Graça, Ernesto e Marco Aurélio Nadal.

Em especial aos grandes amores de minha vida: Mariana, Germano e Maria (in memorian).

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	ix
LISTA DE QUADROS	Xiii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
RESUMO	xvii
ABSTRACT.....	xviii
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	01
1.1 OBJETIVOS	02
1.1.1 Objetivos Específicos	02
1.2 JUSTIFICATIVA	03
1.3 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA	05
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA	06
2.1 GENERALIDADES SOBRE LUNETAS.....	07
2.2 FUNDAMENTOS E ESTRUTURA DAS LUNETAS	10
2.2.1 Retículo.....	13
2.2.2 Sistema de Focalização.....	15
2.2.3 Ampliação da Luneta	15
2.3 TEODOLITO	16
2.3.1 Eixos	17
2.3.1.1 Eixo vertical, azimutal ou principal	18
2.3.1.2 Eixo horizontal, de elevação ou secundário	19
2.3.1.3 Eixo de colimação ou de observação	19
2.3.1.4 Considerações sobre eixo óptico e linha de visada	19
2.4 TEODOLITOS ELETRÔNICOS	20
2.4.1 Princípio da Medição Eletrônica de Ângulos.....	20
2.4.2 Sensor Eletrônico e Compensador de Inclinação	23
2.5 ERROS RELACIONADOS AOS SISTEMAS DE EIXO QUE AFETAM AS MEDIDAS ANGULARES	24
2.6 COLIMADORES	26
2.6.1 Principais Componentes de um Colimador	29
2.6.2 Aplicações de Colimadores	29
2.6.2.1 Determinação de deslocamento angular.....	29
2.6.2.2 Determinação dos parâmetros ópticos – distância focal	30
2.7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO DE BRUHNS OU “DAS ROSETAS”	31

2.7.1	Desenvolvimento do Método de Bruhns	32
2.8	AJUSTAMENTO.....	34
2.9	TESTES ESTATÍSTICOS	35
2.9.1	Teste Global	36
2.9.2	Teste Data Snooping	37
2.10	NORMA INTERNACIONAL ISO17123-3 PARA CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL	40
2.10.1	Testes Completos de Campo	40
2.10.2	Teste Simplificado	43
2.11	NORMA INTERNACIONAL ISO17123-3 PARA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	43
2.11.1	Configuração do teste de campo	44
2.11.2	Obtenção das medidas (observações)	44
2.11.3	Testes Completos	45
2.11.4	Testes Simplificados	45
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA		46
3.1	METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ERROS DE GRADUAÇÃO DE LIMBOS	48
3.1.1	Estudo do Método de Bruhns e Desenvolvimento do Método Adaptado ao Laboratório	48
3.1.2	Desenvolvimento do Protótipo de Alvo para Aplicação do Método da Barra	56
3.1.3	Elaboração do Programa em MatLab para Ajustamento dos Dados Advindos das Observações do Método da Barra	58
3.2	METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES (HORIZONTAL E VERTICAL) DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS EM LABORATÓRIO E AUTOMATIZAÇÃO DO PROCESSO	59
3.2.1	Análise dos Instrumentos Disponíveis para Utilização como Colimadores	59
3.2.2	Desenvolvimento do Projeto da Bancada e Distribuição dos Colimadores	61
3.2.3	Estudo e Desenvolvimento da Iluminação dos Colimadores	64
3.2.4	Testes Preliminares para Estudo da Viabilidade do Emprego de Teodolitos DF Vasconcelos, Utilizando suas Lunetas como Sistema Colimador	67
3.2.5	Análise da Influência de Diferentes Iluminações nas Observações Realizadas	69
3.2.6	Teste na Base de Campo e na Base do Laboratório para Comparação dos Resultados	70
3.2.7	Montagem dos Colimadores com Circuito de Iluminação Composto por <i>LEDs</i>	73

3.2.8	Testes na Base Horizontal do Laboratório com os Colimadores Construídos	74
3.2.9	Desenvolvimento da Planilha Eletrônica de Cálculo e Certificação do Resultado da Classificação Horizontal Conforme a ISO17123-3.	77
3.2.10	Desenvolvimento da Planilha Eletrônica de Cálculo e Certificação do Resultado da Classificação Vertical Conforme a ISO17123-3.....	80
3.2.11	Implantação dos Colimadores Construídos na Base Vertical no Laboratório conforme a ISO 17.123-3	84
3.2.12	Testes na Base de Classificação Angular Vertical com os Colimadores Construídos	86
3.2.13	Implantação dos Colimadores Leica na Base do Laboratório	87
3.2.14	Teste na Base do Laboratório com os Colimadores Leica	92
CAPÍTULO 4 - ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS		95
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ERROS DE GRADUAÇÃO DE LIMBOS PLEO MÉTODO DA BARRA	95
4.1.1	Análise dos Dados para Método da Barra	96
4.2	AVALIAÇÃO DOS RESULTADOS PARA METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES (HORIZONTAL E VERTICAL) DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS EM LABORATÓRIO .	108
4.2.1	Análise da Influência de Diferentes Iluminações nas Observações Realizadas para Construção de um Colimador	108
4.2.2	Comparação dos Resultados entre as Bases de Classificação Horizontal de Campo e Laboratório	112
4.2.3	Análise de Classificação Angular Horizontal utilizando Colimadores Construídos no Laboratório Baseada na ISO 17.123-3	114
4.2.4	Avaliação dos Resultados Obtidos na Base de Classificação Angular Vertical no Laboratório	117
4.2.5	Avaliação dos Resultados Obtidos com os Colimadores Leica na Base de Classificação Angular Horizontal	119
4.2.6	Avaliação dos Resultados Obtidos com os Colimadores Leica na Base de Classificação Angular Vertical de Laboratório	123
4.2.7	Testes Simplificados de Classificação Angular Horizontal e Vertical	126
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		128
5.1	CONCLUSÕES	128
5.2	RECOMENDAÇÕES	133
CAPÍTULO 6 - REFERÊNCIAS		135
ANEXOS		139

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	COMPONENTES INTERNOS DE UMA LUNETA ÓPTICA.....	11
FIGURA 2.2	LENTE OBJETIVAS DESENVOLVIDAS POR FRAUENHOFER ..	12
FIGURA 2.3	OCULAR DESENVOLVIDA POR RAMSDEN	12
FIGURA 2.4	LUNETA ÓPTICA DE KEPLER.....	13
FIGURA 2.5	OCULAR.....	14
FIGURA 2.6	ELEMENTOS PARA DETERMINAÇÃO DA AMPLIAÇÃO DA LUNETA	16
FIGURA 2.7	EIXOS FUNDAMENTAIS DE UM TEODOLITO	18
FIGURA 2.8	VISOR DA ESTAÇÃO TOTAL TC403L (LEICA)	21
FIGURA 2.9	SISTEMA DE LEITURA ANGULAR INCREMENTAL USANDO COMPARADOR DE FASE	23
FIGURA 2.10	AJUSTE INFINITO DO COLIMADOR	27
FIGURA 2.11	COLIMADOR DE FOCALIZAÇÃO (IMAGEM REAL – DISTÂNCIA FINITA)	27
FIGURA 2.12	COLIMADOR DE FOCALIZAÇÃO (IMAGEM VIRTUAL – DISTÂNCIA FINITA)	28
FIGURA 2.13	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO PARA ADAPTAÇÃO EM OCULAR (WILD)	28
FIGURA 2.14	PRINCIPAIS COMPONENTES DE UM COLIMADOR PADRÃO ...	29
FIGURA 2.15	COLIMADOR E TELESCÓPIO ALINHADOS	30
FIGURA 2.16	EXEMPLO DE UMA ROSETA	32
FIGURA 2.17	ESQUEMA DA BASE PARA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL DE ACORDO COM A ISO 17.123-3	44
FIGURA 3.1	POSICIONAMENTO DOS ALVOS APRA O MÉTODO DE BRUHNS	49
FIGURA 3.2a	OBTENÇÃO DA PRIMEIRA ROSETA	51
FIGURA 3.2b	OBTENÇÃO DA PRIMEIRA ROSETA OPOSTA.....	51
FIGURA 3.3a	OBTENÇÃO DA SEGUNDA ROSETA	52
FIGURA 3.3b	OBTENÇÃO DA SEGUNDA ROSETA OPOSTA.....	52
FIGURA 3.4a	OBTENÇÃO DA TERCEIRA ROSETA	53
FIGURA 3.4b	OBTENÇÃO DA TERCEIRA ROSETA OPOSTA.....	53
FIGURA 3.5	TRÊS ROSETAS SOBREPOSTAS	56
FIGURA 3.6	PROTÓTIPO ALVO	57
FIGURA 3.7	DISPOSITIVO PARA VERIFICAÇÃO DE ERROS DE GRADUAÇÃO DOS LIMBOS	58
FIGURA 3.8	TEODOLITO DF VASCONCELOS	61
FIGURA 3.9	MEDIDOR DIGITAL DE TEMPERATURA E UMIDADE	62
FIGURA 3.10	PILAR CENTRAL DA BASE DE CLASSIFICAÇÃO COM REGULAGEM DE ALTURA	62
FIGURA 3.11	SISTEMA DE AR-CONDICIONADO	63
FIGURA 3.12	DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS COLIMADORES SOBRE A BANCADA.....	63
FIGURA 3.13	DISTRIBUIÇÃO DOS COLIMADORES DE ACORDO COM A ISO	

	17.123-3.....	64
FIGURA 3.14	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO – LÂMPADA DICRÓICA E LÂMPADA DE INCANDESCENTE	66
FIGURA 3.15	DIFERENÇA DE VISUALIZAÇÃO DO RETÍCULO	66
FIGURA 3.16	SISTEMA DE ILUMINAÇÃO – LED BRANCO E FILTRO AZUL ...	67
FIGURA 3.17	ESTAÇÃO TOTAL TC403 L POSICIONADA SOBRE O PILAR CENTRAL DA BASE DE CAMPO	71
FIGURA 3.18	PILAR NÚMERO 4 DA BASE DE CAMPO COM ALVO REFLETOR	71
FIGURA 3.19	SISTEMA COLIMADOR	74
FIGURA 3.20	CABEÇALHO PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	78
FIGURA 3.21	CAMPOS DE ENTRADA DE DADOS ANGULARES NA PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	78
FIGURA 3.22	RESULTADO FINAL OBTIDO NA CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	79
FIGURA 3.23	RESULTADO DO TESTE ESTATÍSTICO OBTIDO NA CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	80
FIGURA 3.24	CABEÇALHO PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO VERTICAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	81
FIGURA 3.25	CAMPOS DE ENTRADA DE DADOS ANGULARES NA PLANILHA DE CLASSIFICAÇÃO VERTICAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	81
FIGURA 3.26	RESULTADO FINAL OBTIDO NA CLASSIFICAÇÃO VERTICAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	83
FIGURA 3.27	RESULTADO DO TESTE ESTATÍSTICO OBTIDO NA CLASSIFICAÇÃO VERTICAL CONFORME ISO 17.123-3 – TESTE COMPLETO	83
FIGURA 3.28	PLATAFORMA SUPORTE PARA O SISTEMA COLIMADOR VERTICAL	85
FIGURA 3.29	BASE DE CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	85
FIGURA 3.30	CAIXA DE DISTRIBUIÇÃO E SISTEMA DE ILUMINAÇÃO	87
FIGURA 3.31	COLIMADOR LEICA MONTADO SOBRE A BANCADA DO LABORATÓRIO	88
FIGURA 3.32	ESQUEMA DE OBSERVAÇÃO PARA CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL E VERTICAL UTILIZANDO COLIMADOR LEICA	90
FIGURA 3.33	COLIMADOR LEICA MONTADO SOBRE A BANCADA DO LABORATÓRIO	91

FIGURA 3.34	TECLADO E MOUSE SEM FIO	91
FIGURA 3.35	TEODOLITOS ELETRÔNICOS T100 E T105 E ESTAÇÃO TOTAL TC403 L	94
FIGURA 4.1	TRECHO DA CADERNETA DO MÉTODO DA BARRA	95
FIGURA 4.2	EXEMPLO DE UMA PLANILHA DE DADOS DE OBSERVAÇÃO	97
FIGURA 4.3	EXEMPLO DE RESULTADOS DO AJUSTAMENTO 1ª ROSETA BD-3 WORLD Nº1	99
FIGURA 4.4	EXEMPLO DE PLANILHA COM RESULTADOS PARA TESTE DATA SNOOPING 1ª ROSETA BD-3 WORLD Nº1	101
FIGURA 4.5	RESÍDUOS AJUSTAMENTO (V) TEODOLITO BD3 WORLD Nº1 .	104
FIGURA 4.6	RESÍDUOS PADRONIZADOS (W_1) TEODOLITO BD3 WORLD Nº1	104
FIGURA 4.7	RESÍDUOS AJUSTAMENTO (V) TEODOLITO BD3 WORLD Nº3 .	104
FIGURA 4.8	RESÍDUOS PADRONIZADOS (W_1) TEODOLITO BD3 WORLD Nº3	104
FIGURA 4.9	RESÍDUOS AJUSTAMENTO (V) TEODOLITO T100 Nº 74890 15 .	105
FIGURA 4.10	RESÍDUOS PADRONIZADOS (W_1) TEODOLITO T100 Nº 74890 15	105
FIGURA 4.11	RESÍDUOS AJUSTAMENTO (V) TEODOLITO T105 Nº4	105
FIGURA 4.12	RESÍDUOS PADRONIZADOS (W_1) TEODOLITO T105 Nº4	105
FIGURA 4.13	RESÍDUOS AJUSTAMENTO (V) TEODOLITO T105 Nº1	106
FIGURA 4.14	RESÍDUOS PADRONIZADOS (W_1) TEODOLITO T105 Nº1	106
FIGURA 4.15	EXEMPLO DE ÂNGULO E DIREÇÃO MEDIDA	110

LISTA DE QUADROS

QUADRO 2.1	ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES	25
QUADRO 2.2	DIÂMETROS NUMERADOS SEQUENCIALMENTE	33
QUADRO 2.3	CONTROLABILIDADE DAS OBSERVAÇÕES FORNECIDAS PELAS REDUNDÂNCIAS PARCIAIS	38
QUADRO 2.4	AVALIAÇÃO DOS TESTES ESTATÍSTICOS	41
QUADRO 3.1	CONJUNTO DE 3 ROSETAS DIRETAS E OPOSTAS, TEODOLITO BD-3 WORLD (WILD)	53
QUADRO 3.2	CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL CONFORME NBR 13.133	80
QUADRO 3.3	CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL CONFORME SUGESTÃO PARA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL DA NBR 13.133	83
QUADRO 4.1	RESUMO DOS RESULTADOS ALCANÇADOS PARA TODOS OS EQUIPAMENTOS	103
QUADRO 4.2	RESULTADOS PARA OBSERVAÇÃO COM COLIMADOR COM ILUMINAÇÃO DICRÓICA.....	112
QUADRO 4.3	RESULTADOS PARA OBSERVAÇÃO COM COLIMADOR COM ILUMINAÇÃO INCANDESCENTE	113
QUADRO 4.4	RESULTADOS PARA OBSERVAÇÃO COM COLIMADOR COM ILUMINAÇÃO POR <i>LED</i>	113
QUADRO 4.5	RESULTADOS CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL BASE DE CAMPO TC403 – DIA 10/03/06	114
QUADRO 4.6	RESULTADOS CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL BASE DE CAMPO TC403 – DIA 18/04/06	114
QUADRO 4.7	RESULTADOS CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL BASE DE CAMPO	116
QUADRO 4.8	RESULTADOS CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL BASE DE LABORATÓRIO	117
QUADRO 4.9	RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO HORIZONTAL BASE DE LABORATÓRIO	117
QUADRO 4.10	RESULTADOS CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL BASE DE LABORATÓRIO	119
QUADRO 4.11	RESULTADOS DOS TESTES ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO VERTICAL BASE DE LABORATÓRIO	120
QUADRO 4.12	RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL BASE DE LABORATÓRIO	121
QUADRO 4.13	RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL	

QUADRO 4.14	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM TEODOLITO T105 Nº5.. RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL	122
QUADRO 4.15	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM TEODOLITO T100 Nº726 RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL	123
QUADRO 4.16	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM ESTAÇÃO TOTAL TC403. RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	124
QUADRO 4.17	BASE DE LABORATÓRIO RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	125
QUADRO 4.18	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM TEODOLITO T105 Nº5..... RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	126
QUADRO 4.19	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM TEODOLITO T100 Nº726..... RESULTADOS DOS TESTES DE CLASSIFICAÇÃO E ESTATÍSTICOS DA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL	126
TABELA 4.20	BASE DE LABORATÓRIO E CAMPO COM ESTAÇÃO TOTAL TC403..... RESULTADOS DA CLASSIFICAÇÃO VERTICAL BASE DE LABORATÓRIO	127 128

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

f_{col}	Distância focal do colimador
S	Espaçamento entre as linhas do retículo do colimador
S'	Espaçamento entre as linhas na imagem projetada do retículo
L_a	Vetor das observações ajustadas
X_a	Vetor dos parâmetros ajustados
X	Vetor de correção dos parâmetros
V	Vetor dos resíduos
A	Matriz das derivadas parciais
$\hat{\sigma}_0^2$	Variância a posteriori
σ_0^2	Variância a priori
P	Matriz dos pesos
v	Graus de liberdade
χ^2	Distribuição de probabilidade qui-quadrado
χ^{*2}	Distribuição de probabilidade qui-quadrado calculado
$\chi_{v, 1-\frac{\alpha}{2}}^2$	Distribuição de probabilidade qui-quadrado com v graus de liberdade e nível de confiança
Σv	Matriz var $1 - \frac{\alpha}{2}$ -covariância dos resíduos
r_i	Redundâncias parciais
w_i	Resíduo padronizado individual
Q_v	Matriz cofatora dos resíduos
δ_0	Parâmetro de não-centralidade
s	Desvio-padrão experimental
σ	Desvio-padrão do equipamento e fornecido pelo fabricante
PD	Posição direta da luneta
PI	Posição inversa da luneta
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
IAG	Instituto Astronômico e Geofísico
USP	Universidade de São Paulo
LAIG II	Laboratório de Instrumentação Geodésica II

LABTOPO Laboratório de Topografia da Universidade Federal do Paraná

UFPR Universidade Federal do Paraná

RESUMO

Aplicação de instrumentos geodésicos e topográficos na engenharia é ampla, mas é essencial garantir a qualidade e precisão dos mesmos. Para tanto, é necessário que periodicamente sejam realizadas verificações, retificações (quando necessárias) e classificações destes instrumentos. Dessa forma, a motivação deste trabalho de pesquisa surgiu na tentativa de sanar algumas questões da instrumentação geodésica. A NBR 13.133/98 apresenta na parte que trata de teodolitos e estações totais, a classificação angular horizontal e a metodologia de aplicação de um teste de campo. Porém, um teste de campo exige condições meteorológicas adequadas, equipamentos que permitam avaliar e/ou corrigir esses efeitos atmosféricos e também um local adequado. Neste trabalho buscou-se adaptar os testes de campo a um laboratório utilizando-se colimadores. A aplicação destes equipamentos propicia a realização do teste de classificação em ambiente adequado, garantindo a qualidade dos resultados. Outro foco desta pesquisa visa aplicar técnicas que permitam verificar a isenção de erros de graduação de limbos horizontais de tais equipamentos. Esta preocupação surgiu visto que a classificação angular de um instrumento é realizada a partir de observações realizadas em campo ou laboratório. Assim qualquer problema na graduação do limbo pode influenciar nos resultados de uma classificação, desta maneira busca-se empregar técnicas laboratoriais para detecção de erros nas graduações do limbo. Baseado nas normas NBR 13.133/98 e na ISO 17.123, o laboratório tem como finalidade realizar a classificação angular horizontal e vertical de teodolitos e estações totais em ambientes controlados. Além disso, busca-se aplicar técnicas que permitam verificar a isenção de erros de graduação de limbos horizontais de tais equipamentos.

Palavras-chave: instrumentação geodésica, classificação angular horizontal e vertical, erros de graduação de limbos.

ABSTRACT

Application of geodesic and topographical instruments in engineering is ample, but it is essential to guarantee the quality and precision. So, is necessary that periodically verifications, rectifications (when necessary) and classifications of these instruments are carried through. The motivation of this research appeared in the attempt to resolv some questions of the geodesic instrumentation. The NBR 13.133/98 instruct in the part of the teodolitos and total stations, the horizontal angular classification and the methodology of application of a field test. However, one has tested of field demands adequate meteorological conditions, equipment that allow to also evaluate and/or to correct these atmospheric effect and an adequate place. In this work one searched to adapt the tests of field to a laboratory being used itself collimators. The application of these equipment propitiates the accomplishment of the test of classification in adjusted environment, guaranteeing the quality of the results. Another focus of this research aims at to apply techniques that allow to verify the exemption of errors of graduation of horizontal limbs of such equipment. This concern appeared since the angular classification of an instrument is carried through from comments carried through in field or laboratory. Thus any problem in the graduation of the limb can influence in the results of a classification, in this way searches to use laboratoriais techniques for detention of errors in the graduations of the limb. Based in norms NBR 13,133/98 and ISO 17,123, the laboratory has as purpose to carry through the horizontal and vertical angular classification of teodolitos and total stations in controlled environments. Moreover, one searches to apply techniques that allow to verify the exemption of errors of graduation of horizontal limbs of such equipment.

Word-key: geodesic instrumentation, horizontal and vertical angular classification, errors of graduation of limbs.

1. INTRODUÇÃO

A aplicação de métodos geodésicos e topográficos na engenharia é ampla: locações de obras, determinações de desníveis, monitoramento de estruturas, são alguns exemplos destas aplicações. Porém, para garantir a qualidade e precisão requerida para execução destes trabalhos é importante que os instrumentos atendam a determinados critérios de precisão. Para tanto é essencial que periodicamente sejam realizadas calibrações, verificações, retificações (quando necessário) e classificação destes instrumentos.

A execução periódica destas atividades se justifica pelo uso contínuo e extensivo dos equipamentos no decorrer dos anos, longos períodos de armazenamento, transporte e procedimentos inadequados. Essas questões podem provocar nas peças um desgaste levando o equipamento a operar fora dos padrões estabelecidos originalmente.

No Brasil, a norma que estabelece valores de referência para classificação destes equipamentos é a NBR 13.133, publicada em 1994. Seu texto apresenta as exigências mínimas para a classificação de teodolitos de acordo com a precisão angular e estações totais em função da precisão angular e linear.

A NBR 13.133 estabelece no seu item 4.1.1.1 que a classificação dos teodolitos e estações totais, bem como outros instrumentos geodésicos e topográficos, só pode ser realizada por entidades oficiais e/ou Universidades, em bases apropriadas.

Dessa forma, o laboratório implantado, denominado Laboratório de Instrumentação Geodésica II – LAIG II, foi fundamentado nas normas internacionais, para verificação e classificação angular (horizontal e vertical) de teodolitos e estações totais. Este laboratório tem por objetivo realizar a classificação das componentes angulares (horizontal e vertical), emitindo o resultado da classificação através de uma planilha eletrônica.

Cabe salientar que a NBR 13.133 apresenta apenas os procedimentos a serem executados para a classificação da componente angular horizontal em campo. Um elemento diferencial deste laboratório em relação às bases de campo é a possibilidade de realização de testes em ambiente controlado, minimizando os efeitos das condições de campo (temperatura e refração, por exemplo) e a execução da classificação da componente angular vertical. Outro diferencial é a montagem da estrutura do laboratório para a verificação de teodolitos e estações totais.

1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo desenvolver e adequar uma metodologia para a criação de um laboratório para classificação das componentes angulares horizontal e vertical, de teodolitos e estações totais; bem como para detecção de erros nas leituras das direções horizontais.

1.1.1 Objetivos Específicos

- Adaptar e construir a parte física da base com todos os elementos que a comporão (colimadores, suporte dos colimadores e sistema de iluminação), para as verificações e classificações angulares horizontais e verticais;
- Adaptar metodologia para classificação de teodolitos e estações totais de acordo com a componente angular (horizontal e vertical) em laboratório;
- Avaliar a eficiência dos procedimentos de laboratório frente aos procedimentos de campo na classificação dos teodolitos e estações totais de acordo com a componente angular horizontal;
- Adaptar e desenvolver uma metodologia para verificação de erros de graduação em limbos horizontais;

- Construir e instalar um conjunto de colimadores utilizando lunetas de teodolitos “Vasconcelos” antigos;
- Instalar um conjunto de colimadores *Leica*; e
- Desenvolver uma planilha eletrônica para apresentação dos resultados da classificação angular.

1.2 JUSTIFICATIVA

Alguns estudos foram realizados e divulgados, com relação às bases de campo para classificação de teodolitos baseado somente em medidas das direções horizontais (PACILÉO NETTO e ERWES, 1996 e MEDINA, 1998), porém, em relação a componente vertical não há o conhecimento de nenhum estudo feito ou laboratório implantado em Universidades no país.

Frente a essa discussão e a necessidade da comunidade usuária de instrumentos geodésicos de medição, cogitou-se a implantação de um laboratório equipado adequadamente e sob condições ambientais controladas com esta finalidade, ou seja, realizar a classificação da componente angular baseada em medição de ângulos e direções. A implantação do laboratório além da questão das componentes angulares vertical e horizontal, também abrange a verificação da graduação de limbos horizontais.

Esses temas se correlacionam, quando se aborda o assunto como um todo. Para verificar as componentes angulares, necessita-se previamente garantir que a graduação e o processo de leitura do limbo horizontal estão isentos de erros. E caso o mesmo venha a apresentar erros, identificá-los e quantificá-los torna-se necessário.

O laboratório tem a proposta de viabilizar os procedimentos de classificação, garantindo a minimização da influência da variação da temperatura e pressão durante a coleta de dados, garantindo a agilidade nos trabalhos e praticidade na obtenção das

observações. Além disto, para a realização das observações é necessário um técnico, enquanto que em campo são necessários três. Este número de participantes para o teste de classificação da componente angular horizontal em campo é necessário para que o trabalho seja ágil, pois as distâncias entre os pilares e o pilar central são de aproximadamente 100 m. No caso da realização de ajustes em relação à posição dos alvos montados sobre os pilares esta deve ser feita por um técnico posicionado próximo aos pilares. A questão das anotações das observações inclui um segundo elemento, sendo que a equipe torna-se completa com a inclusão de um observador. A equipe de campo também pode ser montada utilizando-se dois técnicos, caso o observador acumule a função do anotador.

O diferencial dessa proposta está na contemplação da avaliação da componente vertical na classificação dos instrumentos, baseando-se em normas internacionais como a DIN 18.723 e a ISO 12.857.

Além disso, propõem-se o desenvolvimento de uma planilha eletrônica para a automação dos procedimentos laboratoriais, tais como: coleta de dados, ajustamentos das observações e impressão dos resultados rapidamente.

Outra justificativa é que a UFPR sempre foi um pólo de referência na área de instrumentação, dentre os importantes trabalhos já realizados nessa instituição pode-se citar:

- Base de campo para calibração da componente linear de estações totais na fazenda Canguiri;
- Base de campo para classificação de teodolitos e estações totais;
- Base de campo para verificação e retificação de níveis;
- Base para classificação de níveis em campo;
- Estrutura do Laboratório de Instrumentação Geodésica (LAIG), composto por: interferômetro laser, frequencímetros, e outros equipamentos; e

- Calibração de medidores eletrônicos de distância (MED) e da componente linear de estações totais, em laboratório.

Dessa forma, este trabalho justifica-se por todos os quesitos apresentados anteriormente, além de que pretende contribuir com a comunidade ampliando o parque de laboratórios já existente, e oferecendo novas possibilidades de atendimento à comunidade usuária.

1.3 ESTRUTURAÇÃO DA PESQUISA

No capítulo 1 é apresentada a introdução, os objetivos e as justificativas referentes a este estudo. No capítulo 2 são abordados os itens relacionados a revisão da literatura. O capítulo 3 apresenta a metodologia desenvolvida para esta pesquisa. O capítulo 4 trata das análises e discussões dos resultados obtidos. O capítulo 5 aborda as conclusões obtidas e recomendações sugeridas, e finalmente o capítulo 6 indica as referências bibliográficas consultadas para elaboração desta pesquisa

2. REVISÃO DE LITERATURA

Para o perfeito entendimento deste trabalho, uma revisão bibliográfica referente ao assunto torna-se pertinente. Nesse contexto, inicialmente é apresentada uma revisão sobre lunetas e telescópios, pois mesmo com a evolução tecnológica dos teodolitos, esta componente do equipamento permanece com os mesmos princípios fundamentais. Além disto, este trabalho propõe a utilização de lunetas para a construção dos colimadores que serão empregados na base de classificação.

Na seqüência é apresentado um estudo sobre os conceitos fundamentais de óptica geométrica. Esse assunto trata dos conhecimentos iniciais sobre lentes, formação de imagens e erros na formação de imagens. Tem-se como intuito firmar os conhecimentos que serão úteis no estudo de lunetas e colimadores, pois o funcionamento de tais equipamentos será imprescindível para o desenvolvimento dessa pesquisa.

Para consolidar os encaminhamentos anteriores, faz-se uma revisão sobre fundamentos e estrutura de lunetas. Nesse item são apresentadas as partes que compõem esse instrumento e algumas particularidades.

Dando continuidade aos temas que são correlatos a pesquisa, faz-se uma sucinta dissertação sobre teodolitos, seus componentes e sistema de eixos. De forma mais específica apresenta-se na seqüência os teodolitos eletrônicos, seus componentes principais e particularidades. Apresentam-se também generalidades sobre colimadores.

Inclui-se ainda nesse capítulo a fundamentação teórica do Método de Bruhns, pois através de algumas adaptações do método citado se propõe investigar a existência de erros de graduação dos limbos horizontais de teodolitos.

Em seção subsequente são apresentadas considerações sobre os métodos de ajustamento e testes estatísticos aplicados na pesquisa. E finalmente descrevem-se os

itens relacionados à questão dos testes de classificação angular horizontal e vertical, apresentados pela ISO17123-3.

2.1 GENERALIDADES SOBRE AS LUNETAS

De acordo com SILVA (1993)¹ apud ERBA et al. (2003, p.IV-10), desde a origem dos primeiros teodolitos eletrônicos no começo da década de 70, até as modernas estações totais robotizadas, um componente permanece invariante: a luneta. Desde sua invenção no século XVI, esse objeto teve sua evolução voltada principalmente quanto a construção, materiais e funções que a compõe. Esse invento revolucionou a astronomia da época e deu novos conceitos a cosmologia.

Os primeiros experimentos ópticos, com finalidade de melhoria da visão humana tiveram início no século X, pelos chineses. Também existem indícios da utilização de lentes pelos árabes no século XI, mas comprovou-se que esses dois povos não chegaram a desenvolver nenhum dispositivo semelhante à luneta (ÉVORA, 1994, p. 24).

Roger Bacon em 1266-1267, em sua obra *Opus Maius* enfatizou a possibilidade de se usar lentes para aumentar pequenos objetos. Esta é a primeira obra que documenta a utilização de instrumentos ópticos, neste caso, lentes de vidro com a finalidade de observar objetos, aumentando-os (ÉVORA, 1994, p. 25).

A primeira alusão à luneta aparece no século XVI em 1579, quando Thomas Digges, filho de Leonard Digges, escreve dizendo que seu pai construiu um dispositivo formado por uma combinação de lentes de vidro (uma côncava e outra convexa, montadas sobre armações sem tubo), que possibilitava a observação de objetos distantes como se eles estivessem próximos (ÉVORA, 1994, p.28).

¹ SILVA, I. **Instrumentos topográficos modernos – topografia moderna**. Congresso Brasileiro de Cartografia, Rio de Janeiro, 1993.

Com base em documentos encontrados no princípio do século XX, a primeira luneta foi construída por volta de 1600 na Itália (ÉVORA, 1994, p.34). Porém, permaneceu desconhecida até que a patente do telescópio foi requerida em 1608 por um polidor de lentes de Middleburg, chamado Hans Lippersheim. Além dele, surgiram outros dois inventores pretendendo a patente do invento: Zacharias Jansen e Adrien Matius. Porém, o crédito do invento não foi dado a nenhum desses inventores (ÉVORA, 1994, p. 36).

Em 29 de agosto de 1609, Galileu Galilei escreve uma carta a Benedetto Landucci relatando seu novo invento, a luneta (ÉVORA, 1994, p.39). Em 1610, Galileu publicou em latim, o livrete *Sidereus Nuncius*, onde comunicou ao mundo suas primeiras observações de estrelas e planetas. Graças a suas descobertas, Galileu foi nomeado professor em Pisa e “Primeiro Matemático” do Grão-duque da Toscana. Ironicamente, nos últimos anos de sua vida, o homem que se consagrou através da observação direta de corpos celestes, revolucionando os conceitos da astronomia, é afetado pela cegueira (DEL VECCHIO, 1995, p.21).

Em 1611, o alemão Johannes Kepler apresenta um novo arranjo de lentes, diferente da luneta astronômica de Galileu, colocando uma lente biconvexa na ocular aproveitando a distância focal na objetiva. Porém, seu arranjo apresenta a imagem invertida. Para corrigir essa inversão, é introduzida uma terceira lente côncava. A partir de Kepler os instrumentos para observação ao longe passam a se chamar “telescópio”. Essa diferenciação deu-se pelo uso de instrumentos terrestres e astronômicos: os instrumentos manuseáveis e portáteis, utilizados por navegantes, topógrafos, e militares passaram a ser chamados lunetas; enquanto que o instrumento utilizado na exploração celeste passou a ser chamado telescópio (DEL VECCHIO, 1995, p.23).

Em 1655, o holandês Christiaan Huygens tornou-se capaz de arredondar lentes com maior precisão, e junto com seu irmão constrói um telescópio de 69 metros de comprimento com o qual descobre Titã (maior lua de Saturno) e pouco depois

identifica as confusas figuras observadas por Galileu em torno de Saturno, ou seja, o seu sistema de anéis (DEL VECCHIO, 1995, p.25).

Em 1668, Isaac Newton construiu o primeiro telescópio refletor, colocando um pequeno espelho plano, inclinado em 45° , no qual se reflete o feixe luminoso que provem da objetiva, mudando sua direção lateralmente pouco antes de se concentrar no foco. Este telescópio newtoniano ainda é utilizado pelos astrônomos de hoje (DEL VECCHIO, 1995, p.28).

Em 1669, em Gdansk na Polônia, o astrônomo Johannes Hevelius, constrói um telescópio montado sobre uma estrutura de barras, vigamentos e tirantes, com comprimento de 49 metros. Por meio deste instrumento, foi capaz de traçar os primeiros mapas lunares (DEL VECCHIO, 1995, p.26).

No fim do século XVII, além da luneta de lentes (ou refratora), foi desenvolvida a luneta de espelhos (ou reflectora). O idealizador desses novos instrumentos foi o matemático e óptico escocês James Gregory. Esse novo invento revolucionou a observação astronômica, pois, com a utilização de espelhos em lugar das lentes, o efeito da aberração² produzido por elas era minimizado (DEL VECCHIO, 1995, p.27).

Em 1672, o físico francês Cassegrain, criou uma variante do telescópio gregoriano. Empregou um espelho hiperbólico convexo como espelho secundário, proporcionando uma melhor ampliação do telescópio. Este telescópio também ainda é muito utilizado (DEL VECCHIO, 1995, p.30).

Em 1758, o óptico inglês John Dollond, conseguiu dominar a técnica da confecção da lente acromática, resultante do acoplamento de uma convergente com uma divergente, de diferentes vidros, o que conseguiu corrigir a maior parte da

²Aberração: : efeito causado quando a imagem projetada pelos raios que atravessam a parte central de uma lente convergente, não se encontram na mesma distância em relação aos raios que atravessam as partes externas (GUALLART, 1945, p.622).

aberração cromática³ (dispersão da luz devido aos diferentes índices de refração das lentes). O domínio dessa técnica e principalmente na confecção dos tipos de vidros utilizados, *crown*⁴ e o *flint*⁵, deu a Inglaterra o monopólio desse tipo de lente naquela época (DEL VECCHIO, 1995, p.30).

Em 1846, o óptico alemão Carl Zeiss fundou uma oficina em Jena, onde produzia instrumentos ópticos e geodésicos (DEL VECCHIO, 1995, p.34). Em 1864, Ignazio Porro inventor e fabricante de instrumentos ópticos confeccionou a luneta analítica, um sistema de lentes cujo foco é variável, e um sistema de prismas para reverter a imagem das lunetas e nos binóculos (DEL VECCHIO, 1995, p.34).

2.2 FUNDAMENTOS E ESTRUTURA DAS LUNETAS

As lunetas utilizadas nos teodolitos e níveis são, geralmente constituídas de um tubo e três sistemas de lentes: a objetiva, a ocular e o sistema de focalização (figura 2.1).

³ Aberração cromática: efeito causado pela distorção da luz branca quando atravessa uma lente simples. As várias cores que a compõem são separadas, localizando-se em pontos diferentes da lente. O resultado final é uma imagem óptica com bordas franjadas de várias cores. Esse fenômeno varia sua intensidade de acordo com o grau de curvatura da lente e com o índice de refração do vidro (NUNES, 1995, p.238).

⁴ *Crown*: tipo de vidro obtido pela mistura de vidro com cobre, possui índice de refração $n = 1,56$ (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 46).

⁵ *Flint*: tipo de vidro obtido pela mistura de vidro com chumbo, possui índice de refração $n = 1,62$ (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 46).

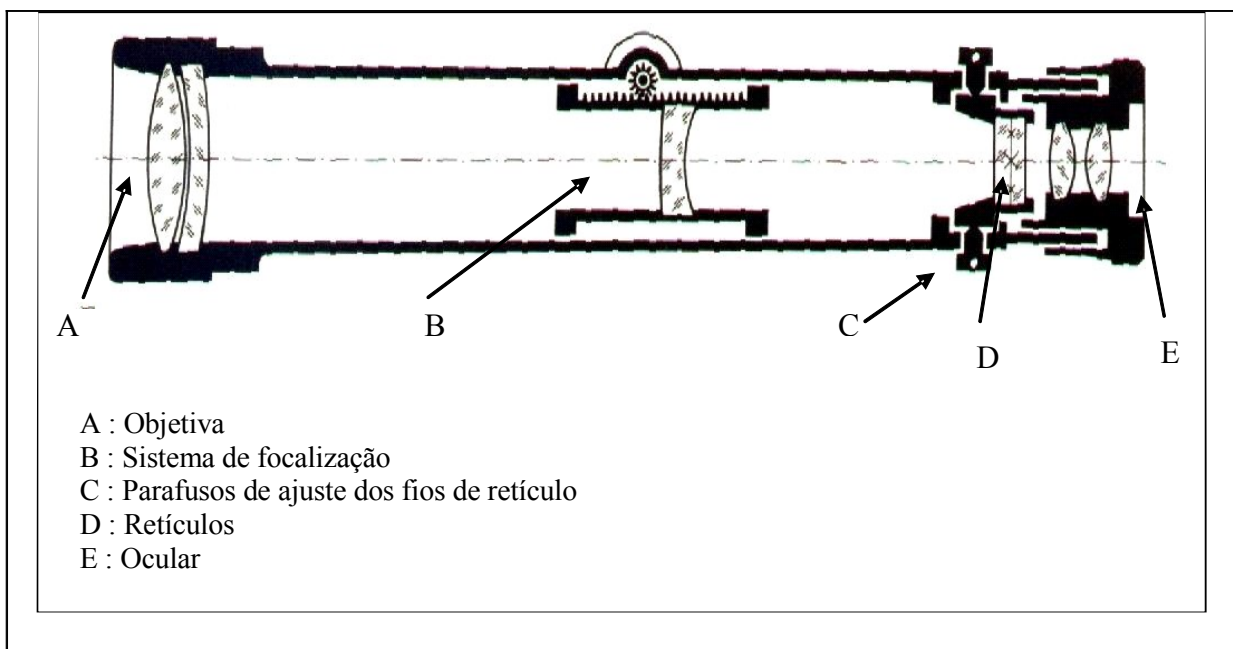


FIGURA 2.1 - Componentes internos de uma luneta óptica
 FONTE: KAHMEN E FAIG (1988)

De acordo com KAHMEN e FAIG (1988, p. 43), uma luneta consiste na centralização de duas lentes convexas, como apresentado por Kepler em 1611. A lente objetiva possui grande distância focal, enquanto que a ocular apresenta um valor reduzido para essa distância. A lente objetiva produz uma imagem invertida e reduzida, a qual é percebida pela ocular.

As lunetas são compostas de várias lentes com diferentes índices de refração e comprimentos de raio, que reduzem os efeitos das aberrações cromáticas e esféricas. A objetiva de instrumentos geodésicos é predominantemente do tipo desenvolvido por Fraunhofer (figura 2.2). Este sistema de lentes objetivas consiste de uma lente biconvexa com baixa refratividade constituída de vidro *crown* ($n = 1,52$) e uma lente côncava-convexa de forte índice de refratividade constituída de vidro *flint* ($n = 1,62$) (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 45).

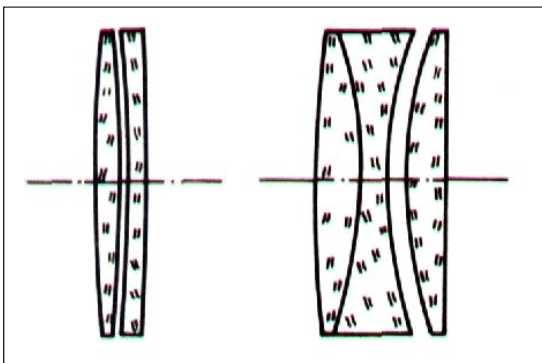


FIGURA 2.2 – Lentes objetivas desenvolvidas por Fraunhofer
 FONTE: KAHMEN E FAIG (1988)

Os equipamentos modernos são equipados com lentes apocromáticas⁶, que são lentes corrigidas para um comprimento adicional principal e para ondas de uma faixa visível do espectro (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 46).

A ocular desenvolvida por Ramsden, consiste em arranjo simples de duas lentes plano-convexas com iguais distâncias focais. São separadas de $\frac{2}{3}$ de f (distância focal) com os lados curvos voltados uma para outra (figura 2.3) (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 46).

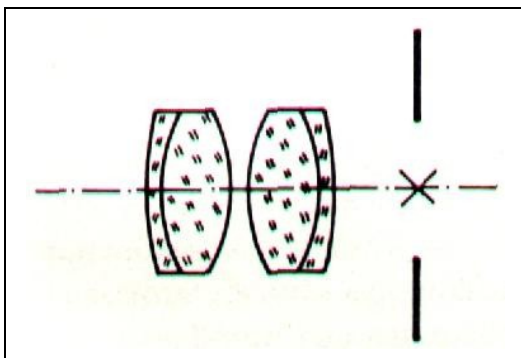


FIGURA 2.3 – Ocular desenvolvida por Ramsden
 FONTE: KAHMEN e FAIG, 1988, p. 46.

⁶ Lentes apocromáticas: neste tipo de lente as distâncias focais são iguais para os extremos e para a zona central do espectro (ALMEIDA, 2008).

As lentes da luneta são geralmente tratadas quimicamente com substâncias anti-reflectante. Isto para minimizar perdas, por reflexão da luz incidente na objetiva e assim, aumentando a luminosidade da imagem. Além da reflexão, outros fatores também contribuem para a perda de luminosidade, como por exemplo, a difusão que é provocada pelo acúmulo de pó, por vapor d'água, resíduos de graxas, etc., depositado na superfície das lentes. E além desses fatores a própria absorção da luz pelo material da lente (FERRAZ e D'ANTONINO, 2005).

Na luneta concebida por Kepler (figura 2.4), na porção superior os raios advindos de um objeto são captados e na porção inferior da figura, é apresentada a imagem de um objeto situado no infinito e fora do eixo. A descrição dos elementos da figura é apresentada no item 2.2.3.

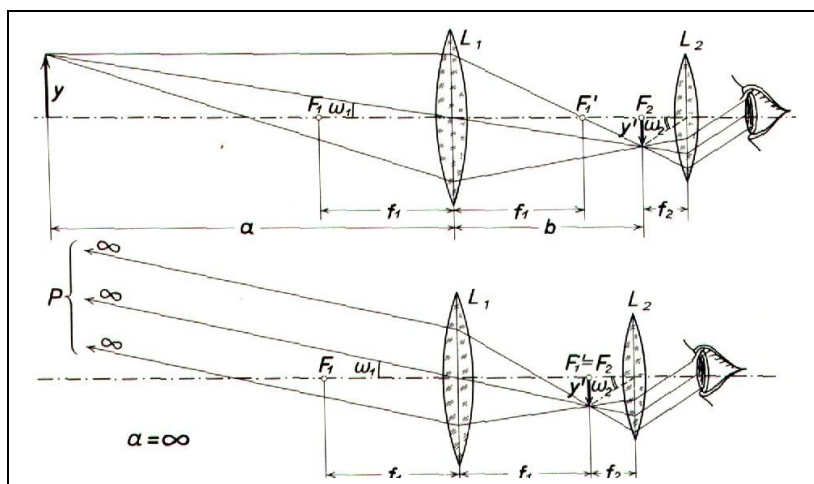


FIGURA 2.4 – Luneta óptica de Kepler
 FONTE: KAHMEN e FAIG (1988)

2.2.1 Retículo

Os fios de retículo empregados em instrumentos topográficos são linhas ou traços muito finos. Alguns fabricantes de instrumentos utilizavam fios de platina

extremamente finos, e outros utilizam traços gravados com diamante diretamente sobre o vidro. Alguns instrumentos possuem dois fios de retículo, um horizontal e um vertical. Os instrumentos que são utilizados em trabalhos mais precisos têm dois fios de retículo horizontais adicionais, um acima e um abaixo do fio horizontal usual. Estes fios de retículos adicionais são chamados de fios estadimétricos (MOFFITT, 1975, p.89).

Para o ajuste da imagem dos fios de retículo, deve-se alterar a distância entre a ocular e conjunto de lentes que recebe os fios de retículo (figura 2.5). Na maioria das lunetas, isto é feito girando a extremidade próxima à ocular. Quando a ocular e a objetiva recebem o ajuste de focalização correto, os fios de retículo aparecem com imagens muito distintas e não devem apresentar nenhum movimento aparente, como se o olho se movimentasse para cima e para baixo. Se houver algum movimento aparente, então, ocorre a paralaxe que deve ser eliminada focalizando novamente a objetiva (MOFFITT, 1975, p.89).

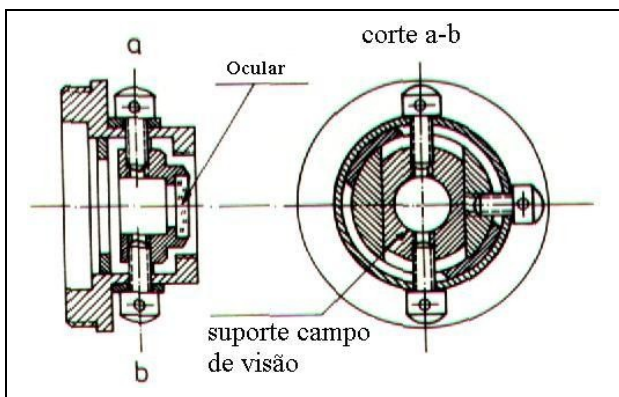


FIGURA 2.5 – Ocular

FONTE: KAHMEN e FAIG (1988)

2.2.2 Sistema de Focalização

Na luneta com sistema interno de focagem, é fixado à esta um comprimento ou distância constante, fixando a posição dos retículos. Por consequência, a imagem gerada pela objetiva, tem que ser deslocada para próximo do plano do retículo. Assim o sistema interno de focagem é colocado entre a objetiva e seu ponto focal posterior. Este sistema de focagem dispersa os raios absorvidos pela objetiva e conseqüentemente, os raios se cruzarão um pouco mais longe, isto é, a imagem é gerada em um ponto mais afastado. Quanto mais afastado o ponto, mais próximo o sistema interno de focagem tem de estar da objetiva. Esta solução evita que se movimente a ocular e permite também a redução do comprimento da luneta para o ajuste dos comprimentos focais adequados (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 45).

2.2.3 Ampliação da Luneta

É a razão entre os ângulos visuais ω_2 e ω_1 com o qual uma distância objeto é observada através da luneta ou a olho nu. Na figura 2.4, os ângulos ω_1 e ω_2 também aparecem no espaço entre as duas lentes L_1 e L_2 (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 47). Então:

$$\omega_1 = \frac{y'}{f_1} \quad (01)$$

$$\omega_2 = \frac{y'}{f_2} \quad (02)$$

$$M = \frac{\omega_2}{\omega_1} = \frac{f_1}{f_2} \quad (03)$$

onde:

M = ampliação da luneta;

ω_1 e ω_2 = ângulos visuais; e

f_1 e f_2 = distâncias focais.

Além disso, com D sendo o diâmetro da objetiva, e d o diâmetro da ocular, $M = D : d$, porque a razão $f_1 : f_2 = D : d$, como mostra a figura 2.6. Para determinar M de acordo com a equação 03, a luneta é focada para o infinito. A ampliação de um telescópio de instrumentos topográficos é de 15 a 50 vezes (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 48).

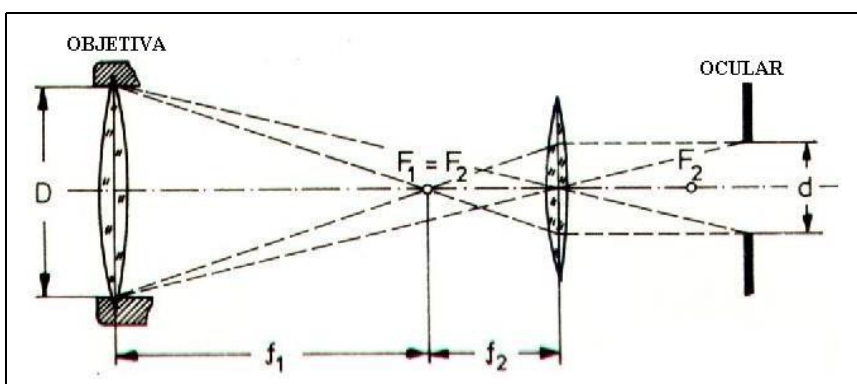


FIGURA 2.6 – Elementos para determinação da ampliação da luneta
FONTE: KAHMEN e FAIG (1988)

Além dos elementos apresentados acima, ainda pode-se citar como características das lunetas o campo de visão, a luminosidade e a resolução. Para maiores informações consultar DEUMLICH (1982), KAHMEN e FAIG (1988) e MOSCOSO (2000).

2.3 TEODOLITO

O teodolito é um instrumento óptico utilizado para realizar medidas diretas de direções horizontais e ângulos verticais. Hoje, graças à microeletrônica, são executadas as medições de ângulos com rapidez e precisão. Dessa forma, os teodolitos eletrônicos têm assumido a preferência em relação aos teodolitos ópticos, porém, há de se enfatizar

que a base de toda a estrutura, arquitetura e fundamentos são mantidos ao longo da história (MOSCOSO, 2000, p. 04).

Assim, pode-se citar suas partes principais, que são: um círculo graduado horizontal (limbo), um vertical, elementos de auxílio na leitura dos círculos e no nivelamento do instrumento; e uma luneta que pode ser rotacionada ao redor do eixo horizontal e do vertical.

A construção desses instrumentos é feita empregando materiais de alta qualidade de estabilidade, apesar das influências mecânicas, físicas e químicas. Para evitar deformações dos componentes ou partes dos instrumentos, são utilizados em sua construção materiais com pequenos coeficientes de dilatação. Para eliminar influências químicas, são utilizados metais não corrosivos e vidros quimicamente tratados e estáveis na parte óptica. E finalmente, metais leves são utilizados para diminuir o peso dos equipamentos (DEUMLICH, 1982, p. 74).

2.3.1 Eixos

Os teodolitos sejam eles ópticos ou eletrônicos, bem como as estações totais apresentam um sistema de três eixos fundamentais (figura 2.7), são eles:

- eixo vertical, azimutal ou principal (VV);
- eixo horizontal , de elevação ou secundário (HH); e
- eixo de colimação ou de observação (ZZ).

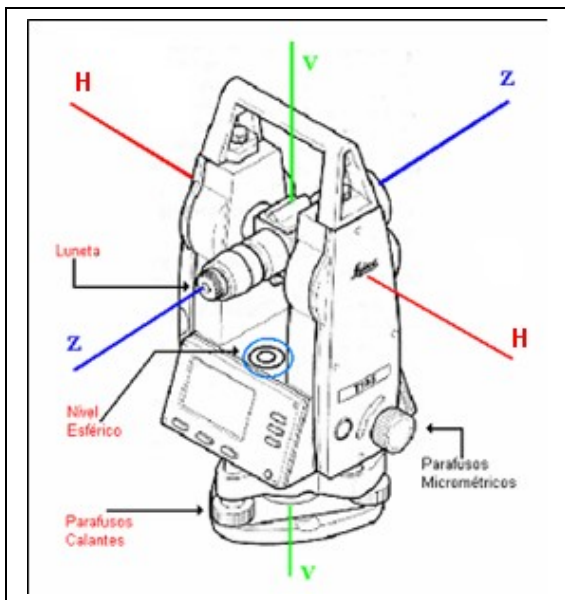


FIGURA 2.7 – Eixos fundamentais de um teodolito
 FONTE: VEIGA, ZANETTI E FAGGION (2007)

2.3.1.1 Eixo vertical, azimutal ou principal

O eixo vertical ou principal (VV) do instrumento é o que permite o movimento geral do equipamento (figura 2.7). Este eixo é composto por duas peças tubulares concêntricas, a interna define a vertical do equipamento e a externa, solidária com os limbos constitui o movimento particular da alidade azimutal (CUERVO, 1996, p. 105).

Sua finalidade é suportar o peso da estrutura e garantir que a rotação do equipamento em torno deste eixo, coincida com a rotação em torno do centro do círculo graduado horizontal (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 55).

O suporte projetado para receber este eixo vertical é construído de materiais que possuem alta estabilidade e permitem fácil e perfeita operação do instrumento, considerando até mesmo diferenças de temperatura. Uma boa estabilidade e fácil

rotação são geralmente obtidas com eixos longos – geralmente três a quatro vezes maior que o máximo diâmetro do eixo (DEUMLICH, 1982, p. 77).

Os instrumentos modernos são equipados, quase que exclusivamente, com eixos cilíndricos, que são mais adequados para produção em série e que praticamente não necessitam de manutenção (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 55).

2.3.1.2 Eixo horizontal, de elevação ou secundário

Este eixo é perpendicular ao eixo vertical e em relação a ele gira a luneta. A linha que materializa o eixo horizontal (HH) é também normal ao eixo de colimação do instrumento, como mostra a figura 2.7. O ajuste entre o eixo horizontal e o eixo vertical, é dado através do ajuste milimétrico (para cima ou para baixo) de um dos suportes de sustentação. A luneta é posicionada no centro do eixo horizontal e o suporte deve permitir o máximo movimento vertical da luneta. Este eixo é normalmente oco e permite a passagem dos raios ópticos usados para as leituras no limbo (KAHMEN e FAIG, 1988, p. 57).

2.3.1.3 Eixo de colimação ou de observação

O eixo de colimação (ZZ) é definido pelo alinhamento dos centros ópticos das lentes da luneta com o centro do retículo. Este eixo deve ser perpendicular ao eixo vertical e ao horizontal, como mostra a figura 2.7 (CUERVO, 1996, p.105).

2.3.1.4 Considerações sobre eixo óptico e linha de visada

Segundo NADAL (2000, p. 40) a linha representada pelo eixo óptico de uma luneta, não é na realidade uma linha reta, em primeira análise pode ser considerada

como uma curva ou um arco de circunferência máxima, para melhor definição considera-se um arco de geodésica no elipsóide, o que na Terra real é de difícil entendimento. No que se refere ao eixo óptico de uma luneta, considera-se com sendo um eixo perpendicular ao eixo secundário, e materializado pelos fios de retículo da mesma, porém esta materialização é de difícil obtenção. E a linha de visada materializa uma direção medida no terreno (NADAL, 2000, p.31).

2.4 TEODOLITOS ELETRÔNICOS

Os teodolitos eletrônicos possuem as mesmas características construtivas dos teodolitos óptico-mecânicos, a maior modificação foi no sistema de leitura de ângulos, que passou a ser eletrônico. Outra alteração importante desse equipamento deu-se no sistema de calagem, onde é utilizado um sensor eletrônico de inclinação (ERBA et al., 2003, p. IV-10).

A seguir são apresentados alguns conceitos dos teodolitos eletrônicos, como o sistema de medição eletrônica, sensor eletrônico e compensador de inclinação.

2.4.1 Princípio da Medição Eletrônica de Ângulos

De acordo com CINTRA(1995)⁶ apud ERBA et al.(2003, p. IV-10), os principais componentes físicos de um sistema de medição eletrônica são:

- círculo de cristal com gravações de regiões claras e escuras (transparentes e opacas), codificadas por meio de um processo de fotolitografia; e
- fotodiodos detectores de luz.

⁶ Cintra, J.P. (1995). **Teodolitos Eletrônicos**. Congresso Brasileiro de Cartografia, 17. EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

São basicamente dois princípios de codificação de medição: o absoluto e o incremental. O absoluto fornece o valor angular para cada posição do círculo. A codificação incremental fornece o valor com relação a uma posição inicial (CINTRA, 1993, p. 41).

A codificação pelo método absoluto utiliza um sistema absoluto de leitura. Esse sistema faz a leitura do círculo de vidro com graduação em códigos, através de um sistema óptico-eletrônico. Este círculo de vidro graduado apresenta uma seqüência de trilhas opacas dispostas concentricamente. O número de trilhas é dado em função do raio do círculo. O sistema de leitura utilizado nesse método associa um valor de zero (0) quando a luz não atravessa o círculo graduado e um (1) quando a luz atravessa. Este acontecimento é detectado por meio de uma série de diodos dispostos no círculo. Dessa forma associa-se a cada posição do círculo um código binário, os quais são manipulados e apresentados de forma digital no visor do equipamento, como mostra a figura 2.8 (ERBA et al., 2003, p. IV-12).



FIGURA 2.8 – Visor da estação total TC4031 (Leica)
FONTE: A autora (2006)

Em relação a posição e fixação dos fotosensores, o método absoluto de leitura ainda pode ser dividido em dois métodos: o dinâmico e o estático.

Os codificadores absolutos dinâmicos são aqueles em que os fotosensores se movem conjuntamente com a alidade, ou seja, medição dinâmica. E os codificadores absolutos estáticos são aqueles em que os fotosensores estão fixos, medição estática (MOSCOSO, 2000, p.143).

Na medição estática os fotosensores lêem o círculo graduado através dos códigos binários, determinando dessa forma a posição sobre o círculo. O maior problema deste método é que, para obterem-se os valores de minutos são necessários limbos com grandes diâmetros. Esta questão pode ser solucionada introduzindo um micrômetro eletrônico (MOSCOSO, 2000, p.144).

Na medição dinâmica se utiliza um disco onde são gravados 2.048 espaços iguais, formados por segmentos opacos e transparentes. Com este método se eliminam erros de graduação, pois todos os traços do círculo são explorados e também os erros de excentricidade, pelo fato de que são colocados dois pares de fotosensores em posições diametralmente opostas (MOSCOSO, 2000, p.144).

No método incremental o círculo de vidro é gravado com uma série de traços opacos e transparentes igualmente espaçados. Uma fonte de luz é colocada de um lado do círculo e um fotodetector do lado oposto. Dessa forma, detecta-se o número de pulsos (claros e escuros) que ocorrem quando o teodolito é rotacionado de uma posição para outra, determinando a medida do ângulo (figura 2.9). O número de pulsos é convertido e apresentado na forma digital (ERBA et al., 2003, p. IV-12).

Este procedimento de contagem de pulsos fornece um ângulo com pouca precisão. Então, para refinar a leitura, empregam-se mais fotodetectores. Um segundo fotodetector indica o sentido de giro. E em outra região são utilizados mais quatro fotodetectores para realizar a leitura de precisão por interpolação (MOSCOSO, 2000, p.143).

Deduz-se então, que não existe nenhum valor de orientação fixado a superfície. Este é o sistema usado pela maioria das estações totais e teodolitos. Pode-se então,

colocar (indexar) o zero angular em qualquer posição mirada em campo (MOSCOSO, 2000, p. 141).

A leitura do ângulo vertical requer o mesmo procedimento, porém, deve-se fixar previamente a posição do zero. Isto é feito utilizando duas escalas especiais: a do círculo graduado e a da alidade. Estas duas escalas são coincidentes quando o eixo de colimação está perpendicular ao eixo vertical (MOSCOSO, 2000, p.143).

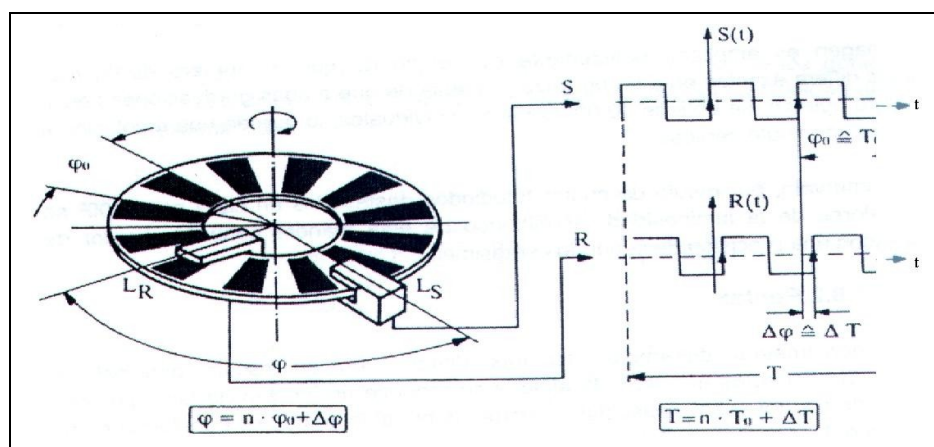


FIGURA 2.9 – Sistema de leitura angular incremental usando comparador de fase
FONTE: KAHMEN E FAIG (1998)

2.4.2 Sensor Eletrônico e Compensador de Inclinação

Esse dispositivo foi incorporado aos teodolitos eletrônicos com o objetivo de garantir a compensação automática das inclinações residuais do eixo principal (ERBA et al., 2003, p. IV-14). Segundo ERBA et al. (2003, p. IV-14) o sensor eletrônico de inclinação agiliza o levantamento e aumenta a precisão, pois corrige diretamente uma visada simples de ângulos verticais, sem a necessidade de utilizar leituras em PD e PI.

De acordo com CINTRA⁸ apud ERBA et al. (2003, p. IV-14), o sistema é baseado na reflexão de uma luz sobre uma superfície líquida, que permanece sempre

⁸ Cintra, J.P. (1995). **Teodolitos Eletrônicos**. Congresso Brasileiro de Cartografia, 17. EPUSP - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

horizontal e por isso pode ser usada como referencial. O princípio utilizado é o de uma luz gerada em um ponto e que é refletida na superfície líquida e, após atravessar alguns componentes ópticos, atinge um fotodiodo. O valor da corrente induzida no fotodiodo possibilita determinar a posição da luz em relação ao ponto zero, e o deslocamento em relação ao ponto central, isto é, a inclinação do teodolito na direção do eixo de colimação e na sua perpendicular.

Segundo MOREIRA⁹ apud ERBA et al. (2003, p. IV-15), a resolução de um compensador que utiliza este princípio, é da ordem de $1\mu\text{m}$ e pode detectar um defeito de calagem na ordem de $1''$.

2.5 ERROS RELACIONADOS AOS SISTEMAS DE EIXO QUE AFETAM AS MEDIDAS ANGULARES

Como apresentado nas seções 2.3.1.1, 2.3.1.2 e 2.3.1.3 os teodolitos apresentam três eixos fundamentais: o vertical (VV), o horizontal (HH) e o de colimação (ZZ). Para o perfeito funcionamento do instrumento as seguintes condições devem ser satisfeitas:

- a) o eixo de colimação deve ser normal ao eixo horizontal ($ZZ \perp HH$);
- b) o eixo horizontal (HH) deve ser normal ao eixo vertical ($HH \perp VV$), então o plano de colimação será vertical; e
- c) o eixo vertical deve estar na vertical.

No quadro 2.1 são descritos sucintamente os principais erros que podem afetar as medidas angulares, as informações para a elaboração do quadro encontram-se nas

⁹ MOREIRA, A. P. (1998). **Métodos de cálculo de coordenadas tridimensionais para controle de obras de engenharia**, Escola de Engenharia de São Carlos - São Carlos - SP, tese de doutorado.

seguintes referências: DEUMLICH (1982), KAHMEN e FAIG (1988) e MEDINA (1998).

Em consequência do estudo do erro de graduação do limbo apresentado no quadro 2.1, será aplicado no desenvolvimento deste trabalho um método para a verificação das graduações dos limbos horizontais, o chamado “Método das Rosetas” (Método de Bruhns), nesta pesquisa denominado Método da Barra que será descrito na seção 3.1 deste estudo.

Tipo de Erro	Causa	Minização de seu efeito
Erro devido a inclinação do eixo de colimação (ZZ)	Ocorre quando o eixo de colimação (ZZ) não é normal ao eixo horizontal (HH), propiciando assim existência do valor c que indica um erro de posição de um ponto quando a luneta é girada de 180°.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erro devido a inclinação do eixo horizontal	Ocorre se o eixo horizontal desvia de um ângulo i do plano horizontal quando o eixo vertical está na vertical.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erro devido a inclinação do eixo vertical	Ocorre quando este eixo não está precisamente na vertical.	Instalar novamente o equipamento sobre o ponto ou estação.
Erro de oscilação do eixo vertical	Proporciona um oscilação no eixo vertical e é detectado com auxílio de níveis precisos, ou autocolimador utilizando um espelho na parte superior do instrumento.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI). Exceto se as pontarias forem muito inclinadas.
Erro de Excentricidade do eixo de colimação	Ocorre quando o centro da graduação do limbo não coincide com o eixo vertical, ou quando o eixo de colimação não é normal ao eixo vertical.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Excentricidade do limbo ou alidade	Este erro ocorre durante o processo de fabricação e montagem do teodolito. O ponto da rotação do limbo graduado é apenas geometricamente definido como o centro da graduação, mas não coincidem, e também são diferentes do centro de rotação do teodolito. Assim as leituras do limbo não correspondem à rotação do teodolito, e podem corresponder a um acréscimo ou decréscimo na leitura.	Realizando observações nas duas posições da luneta (PD e PI).
Erros de graduação do limbo	Produzido pela imprecisão durante o processo de gravação do limbo. Estes erros podem ser regulares ou irregulares, e também podem ser causados por grandes variações de temperatura (dilatação do limbo).	Realizando observações utilizando partes distintas do limbo e distribuídas adequadamente.

QUADRO 2.1 – ERROS QUE PODEM AFETAR AS MEDIDAS ANGULARES
 FONTE: DEUMLICH (1982), KAHMEN e FAIG (1988) e MEDINA (1998).

2.6 COLIMADORES

O colimador é um instrumento óptico que consiste de uma lente objetiva com boa correção geométrica e de uma iluminação do retículo pelo seu plano focal (ocular).

O feixe de luz emergente é paralelo (feixe de colimação), de modo que a imagem do retículo é projetada para o infinito (MILDEX, 2006).

O colimador é usualmente montado com um ajuste conhecido como ajuste infinito, onde o plano focal da objetiva coincide com o retículo (figura 2.10).

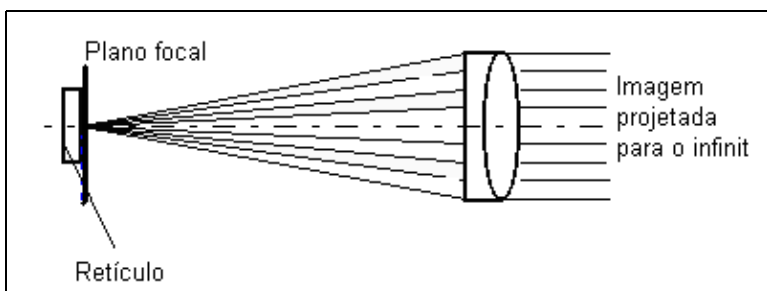


FIGURA 2.10 – Ajuste infinito do colimador
FONTE: ADAPTADO DE MILDEX (2006)

Quando se movimenta o retículo em relação ao plano focal da objetiva, a forma do feixe emergente muda, de acordo com o que é mostrado a seguir (MILDEX, 2006).

Movendo o retículo colocando-o atrás do plano focal da lente objetiva resultará em um feixe convergente. A imagem do retículo será real e projetada em uma distância finita (figura 2.11).

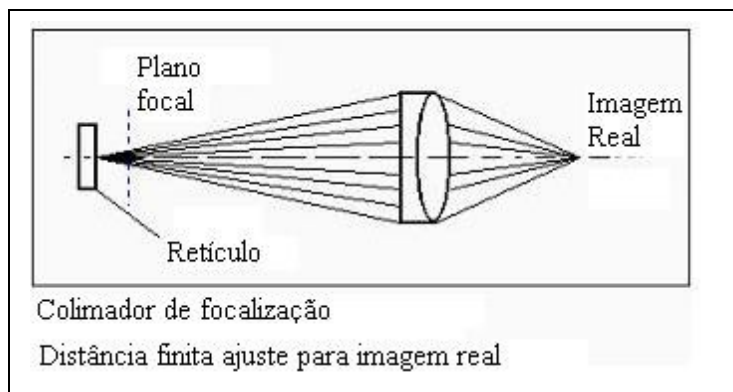


FIGURA 2.11 – Colimador de focalização (imagem real - distância finita)
FONTE: ADAPTADO DE MILDEX (2006)

Movendo o retículo colocando-o a frente do plano focal da lente objetiva resultará em um feixe divergente. Se o feixe diverge, uma imagem virtual será produzida no ponto de cruzamento aparente dos raios do feixe. Este ponto situa-se também em uma distância finita. Este ajuste do colimador é conhecido como ajuste da distância finita (figura 2.12).

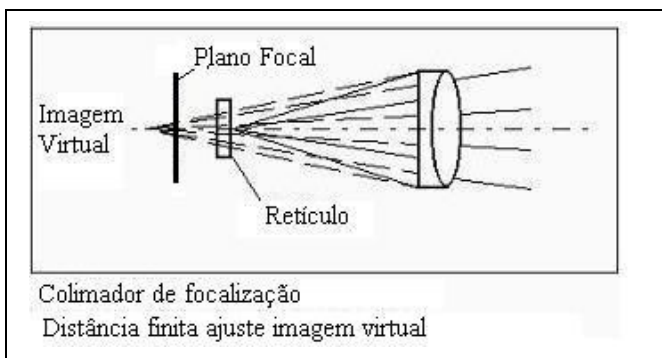


FIGURA 2.12 - Colimador de focalização (imagem virtual - distância finita)
FONTE: ADAPTADO DE MILDEX (2006)

Os teodolitos Wild T1, T16 e T2 podem ser usados como colimadores se no lugar de suas oculares forem adaptadas lâmpadas oculares (figura 2.13) (DEUMLICH, 1982, p. 53). Outros equipamentos com as características necessárias também podem ser convertidos em colimadores, desde que sejam feitas as adaptações necessárias.



FIGURA 2.13 – Sistema de iluminação para adaptação em ocular (Wild)
FONTE: A autora (2006)

2.6.1 Principais Componentes de um Colimador

Os principais componentes de um colimador padrão (ajuste infinito) são (figura 2.14): tubo suporte para lentes objetivas, adaptador do retículo, e dispositivo de iluminação.

Um colimador de focalização (ajuste com distância finita) é de construção similar, contudo, o adaptador do retículo é montado em um prolongamento do tubo para o ajuste da focalização (MILDEX, 2006).

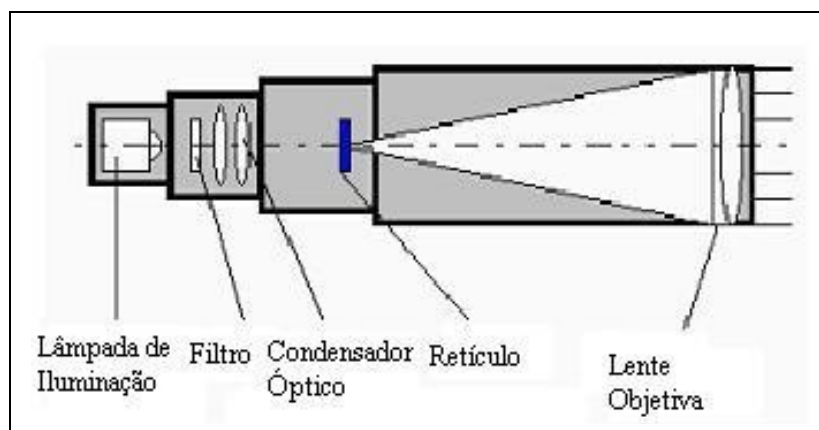


FIGURA 2.14 – Principais componentes de um colimador padrão
FONTE: ADAPTADO DE MILDEX (2006)

2.6.2 Aplicações de Colimadores

Em metrologia óptica, colimadores e telescópios são muito utilizados em conjunto para medir diferentes parâmetros ópticos e geométricos.

2.6.2.1 Determinação de deslocamento angular

Uma luneta posicionada em frente a um colimador possibilita a observação simultânea dos retículos do colimador e o da luneta, como mostra a figura 2.15. Quando um colimador está alinhado perfeitamente com a luneta os retículos estão sobrepostos e não ocorrem deslocamentos (MILDEX, 2006).

A presença de um ângulo α entre o eixo do colimador e o da luneta corresponde a um deslocamento linear d entre os dois retículos. O deslocamento d representa a magnitude do deslocamento angular entre os dois instrumentos (MILDEX, 2006):

$$\alpha = \frac{d}{f} \quad (04)$$

Onde:

d = medida do deslocamento linear no plano do retículo (plano focal); e

f = distância focal efetiva (EFL) do instrumento observado (luneta).

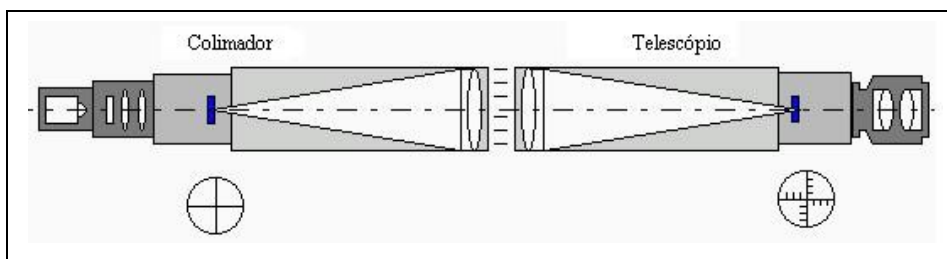


FIGURA 2.15 - Colimador e telescópio alinhados

FONTE: ADAPTADO DE MILDEX (2006)

2.6.2.2 Determinação dos parâmetros ópticos - distância focal

Uma aplicação típica é a medição da distância focal efetiva (*Effective Focal Length – EFL*). Um conjunto colimador precisamente definido para o infinito (feixe

emerge paralelo), tem um retículo com um par de linhas espaçadas situado em seu plano focal. A imagem do retículo é projetada sobre as lentes e focalizado em seu plano focal. Por meio de um microscópio (ou um telescópio com lentes acromáticas) o tamanho do espaçamento entre as linhas é determinado e a distância focal efetiva é calculada (MILDEX, 2006):

$$f = \frac{f_{col}S'}{S} \quad (05)$$

onde:

f_{col} = distância focal do colimador;

S = distância entre as linhas do retículo do colimador; e

S' = distância entre linhas na imagem projetada do retículo.

2.7 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA DO MÉTODO DE BRUHNS OU “DAS ROSETAS”

Este é um método muito utilizado por astrônomos, para a investigação das graduações de limbo. Chamado método de Bruhns ou Método das Rosetas, este método oferece pesos iguais para todas as correções dos erros. A sequência das medidas e a simplicidade do procedimento são características deste método; porém uma de suas desvantagens é o grande número de leituras de cada diâmetro, em contrapartida a grande acurácia do método. A fundamentação teórica desse método é encontrada em PODOBED (1965, p. 99).

Existem algumas modificações no método de Bruhns, que permitem reduzir o número de medidas e preservar a acurácia dos resultados.

Atribui-se a um conjunto de diâmetros (PODOBED entende por diâmetro, cada leitura feita no limbo, por exemplo, 0°, 20° e 40°) uniformemente distribuídos em uma roseta e introduz-se o símbolo $R(p,x)$ para descrever a roseta que consiste em p

diâmetros incluindo um diâmetro designado de x . Assim, $R(6,0^\circ)$, significa um grupo de diâmetros de $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$, e que se inicia em 0° . O autor entende como roseta, este conjunto de diâmetro ou leituras: $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ (esta seqüência de diâmetros forma uma roseta), como mostra a figura 2.16.

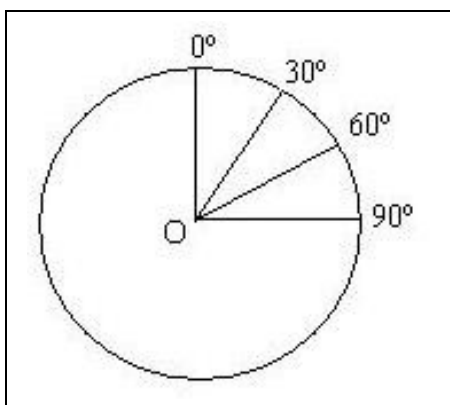


FIGURA 2.16 – Exemplo de uma roseta
FONTE: A autora (2006)

2.7.1 Desenvolvimento do Método de Bruhns

Este método é aplicado para determinar erros de graduação ou medição do limbo e também de suas divisões.

A análise dos diâmetros da roseta $R(p,x)$ é feita com os ângulos α_i entre os diâmetros de leitura que não excedam 90° e iguais a:

$$\alpha_1 = \frac{180^\circ}{p} \quad \alpha_2 = 2 \frac{180^\circ}{p} \quad \alpha_3 = 3 \frac{180^\circ}{p}$$

Estes ângulos são medidos com relação a cada diâmetro da roseta. Assim, para o caso $R(6,0^\circ)$ a posição dos ângulos são iguais para $\alpha_1=30^\circ, \alpha_2=60^\circ, \alpha_3=90^\circ$. Fazendo a leitura do diâmetro x de l_x e sua correção de (x) , então cada medida de ângulo α_i produz uma equação:

$$[l_{x+\alpha l} + (x + \alpha_1)] - [l_x + (x)] = \alpha_1 \quad (06)$$

ou

$$(x) - (x + \alpha_1) = -\alpha_1 + d_{x, x+\alpha l} \quad (07)$$

onde

$$d_{x, x+\alpha l} = l_{x+\alpha l} - l_x \quad (08)$$

Estas medidas da roseta para o dado ângulo α_1 são feitas na ordem direta e inversa, com o instrumento ajustado nas mesmas leituras. Se $\alpha = 90^\circ$, o procedimento acima não será aplicado desde que a seqüência das medidas avaliadas em uma direção já inclua duas medidas com posições iguais.

De acordo com BOCZKO (1979, p. 19), este método diminui o tempo de observação de uma porção do limbo, ou seja, subdividir o limbo de tal forma que se torna mais rápido as leituras, e assim considerar as observações como estáveis.

Na seqüência, será demonstrado um exemplo numérico simplificado da aplicação do método (BOCZKO, 1979, p. 19).

Uma circunferência é dividida em $n = 120$ partes iguais. Então se tem um número de diâmetros igual a $d = 60$, obtido por:

$$d = \frac{n}{2} \quad (09)$$

O ângulo ψ^0 entre dois diâmetros consecutivos será de 3° , obtido por:

$$\psi^0 = \frac{360^\circ}{n} = \frac{180^\circ}{d} = \frac{180^\circ}{60} = \psi^0 = 3^\circ \quad (10)$$

Observa-se No quadro 2.1 que o diâmetro 2 corresponde tanto a divisão 6° como a divisão 186° , pois ele as liga. No caso geral, o diâmetro i corresponde à divisão $180^\circ + \psi^0 i$ e também, à i .

A aplicação prática desse método incluindo os métodos de ajustamento das observações podem ser encontrados em BOCZKO (1979, p. 20).

Número de ordem Do diâmetro	Graduação Correspondente	Graduação diametralmente oposta
0	0°	180°
1	3°	183°
2	6°	186°
...
i	(3 x i)°	180° + (3 x i)°
...
57	171°	351°
58	174°	354°
59	177°	357°

QUADRO 2.2 - Diâmetros numerados seqüencialmente
FONTE: A autora (2006)

2.8 AJUSTAMENTO

A metodologia utilizada para o ajustamento das observações foi a dos Mínimos Quadrados - Método Paramétrico. De acordo com Gemael (1994, p.118), o modelo matemático natural expressa que os valores observados ajustados são explicitados em função dos parâmetros ajustados, como mostra o modelo abaixo:

$$L_a = F(X_a) \quad (11)$$

O modelo matemático linearizado do método dos parâmetros é dado por:

$$V = AX + L \quad (12)$$

onde a matriz das derivadas parciais A, é assim definida:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{x_0} \quad (13)$$

e sucessivamente tem-se:

$$L = L_0 - L_b \quad (14)$$

$$L_0 = F(X_0) \quad (15)$$

$$X = -(A^T P A)^{-1} A^T P L \quad (16)$$

Com as matrizes e vetores anteriormente mencionados, pode-se calcular a variância da unidade de peso a posteriori:

$$\sigma_0^2 = \frac{V^T P V}{v} \quad (17)$$

onde, o número de graus de liberdade v , é dado por:

$$v = n - u \quad (18)$$

onde:

n : número de equações; e

u : número de parâmetros.

Na primeira etapa do ajustamento paramétrico, utilizou-se a variância da unidade de peso a priori (σ_0^2) com valor unitário.

2.9 TESTES ESTATÍSTICOS

De acordo com Kuang (1996, p.128), os testes Global e Data Snooping são os mais freqüentemente usados dentre as técnicas de avaliação de dados no pós-ajustamento. Em 1968, Baarda propôs o Teste Global para detecção de *outlier* e o Data Snooping para a localização de erros grosseiros.

Após o ajustamento das observações, aplica-se o Teste Global, que avalia a compatibilidade do fator da variância da unidade de peso a posteriori estimado $\hat{\sigma}_0^2$, com o fator da variância da unidade de peso a priori escolhido σ_0^2 . Caso o Teste Global indique divergência entre as variâncias a priori e posteriori, ou seja, a hipótese nula H_0 tenha sido rejeitada, um exame adicional dos resíduos é realizado pelo Teste Data Snooping.

2.9.1 Teste Global

Este teste estatístico examina a compatibilidade entre as variâncias $\hat{\sigma}_0^2$ e σ_0^2 . Sendo assim, após a finalização do ajustamento, parte-se para o teste de hipótese através do Teste Qui-Quadrado χ^2 .

De acordo com Gemael (1994, p.123), a forma quadrática $V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V$ tem distribuição de χ^2 com v graus de liberdade, isto é:

$$V^T \Sigma_{Lb}^{-1} V \sim \chi^2(v) \quad (19)$$

$$\frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(v) \quad (20)$$

$$\frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} \sim \chi^2(v) \quad (21)$$

Então, testando a hipótese básica:

$$H_0: \sigma_0^2 = \hat{\sigma}_0^2, \quad (22)$$

contra a hipótese alternativa:

$$H_1: \sigma_0^2 \neq \hat{\sigma}_0^2, \quad (23)$$

comparando o valor calculado:

$$\chi^2 = \frac{\hat{\sigma}_0^2}{\sigma_0^2} V = \frac{V^T P V}{\sigma_0^2} \quad (24)$$

com os valores teóricos:

$$\chi^2_{v, \frac{\alpha}{2}} \text{ e } \chi^2_{v, 1-\frac{\alpha}{2}} \quad (25)$$

A hipótese básica H_0 não é rejeitada, ao nível de significância α , se:

$$\chi^2 < \chi^2_{v, 1-\frac{\alpha}{2}} \text{ ou } \chi^2 > \chi^2_{v, \frac{\alpha}{2}} \quad (26)$$

Neste caso, o teste global indica se a variância da unidade de peso a posteriori é estatisticamente igual a 1. Se as hipóteses básica ou alternativa forem rejeitadas, então, deve-se avaliar em relação a duas possibilidades:

- Peso observacional incorreto; ou
- Erros grosseiros existentes nos dados observados.

2.9.2 Teste Data Snooping

Este teste tem por objetivo avaliar a i -ésima observação com relação a erros grosseiros embutidos na mesma. De acordo com FÖRSTNER¹⁰ apud SANTOS JÚNIOR (2005, p. 18), este teste avalia os resíduos obtidos pela matriz de redundâncias parciais R , que é definida por:

¹⁰FÖRSTNER, W. (1979) **Das Programm TRINA zur Ausgleichung und Gütebeurteilung geodätischer Lagenetze**. Zeitschrift für Vermessungswesen, Stuttgart, v. 104, n. 2, p. 61-72.

$$R = \frac{1}{\sigma_0^2} \Sigma v P \quad (27)$$

onde:

σ_0^2 : variância da unidade de peso a posteriori,
 Σv : matriz variância-covariância dos resíduos, e
 P : matriz dos pesos.

Essa matriz fornece as redundâncias parciais (r_i) de cada observação. De acordo com Leick (1995, p. 161), esses parâmetros indicam a controlabilidade das observações, ou seja, o grau de incidência de um erro grosseiro na observação. A controlabilidade das observações é classificada de acordo com o quadro 2.3 A controlabilidade é um fator que indica a capacidade de identificação de um erro grosseiro na observação, quanto maior a controlabilidade maior será a probabilidade de identificação do erro na observação.

Intervalo	Controlabilidade
$0 \leq r_i < 0,01$	Não Há
$0,01 \leq r_i < 0,1$	Ruim
$0,1 \leq r_i < 0,3$	Suficiente
$0,3 \leq r_i < 1$	Boa

QUADRO 2.3 - Controlabilidade das observações fornecida pelas redundâncias parciais
 Fonte: MÜRLE E BILL (1984)¹¹ apud SANTOS JÚNIOR(2005, p.19)

O resíduo padronizado individual (w_i) indica se há erro grosseiro naquela observação. Neste trabalho, as análises estatísticas foram realizadas considerando as observações como correlacionadas. O parâmetro (w_i) pode ser calculado por (KUANG, 1996, p. 132):

¹¹MÜRLE, M.; BILL, R. (1984) **Zuverlässigkeits – und Genauigkeits – untersuchung ebener geodätischer Netze. Allgemeine Vermessungs – Nachrichten**, Karlsruhe, v.91, n.2, p.45-62.

$$w_i = \frac{-c_i^T P \hat{V}}{\sigma_0 \sqrt{c_i^T P Q_{\hat{V}} P c_i}} \quad (28)$$

onde:

c_i : vetor de zeros exceto na posição i desejada,

P : matriz dos pesos,

\hat{V} : vetor dos resíduos e

Q_V : matriz cofatora dos resíduos.

A matriz cofatora dos resíduos é calculada de acordo com a seguinte equação (KUANG, 1996, p. 132):

$$Q_{\hat{V}} = \left(\frac{1}{\sigma_0^2} \right) \times \Sigma v \quad (29)$$

onde:

σ_0^2 : variância da unidade de peso a posteriori, e

Σv : matriz variância-covariância dos resíduos.

Após o cálculo de w_i , deve-se então compará-lo com o parâmetro de não-centralidade δ_0 . Caso o resíduo padronizado w_i , seja em módulo maior que o parâmetro de não-centralidade, então se conclui que existe um erro grosseiro na observação i -ésima.

$$|w_i| > \delta_0 \quad (30)$$

O parâmetro de não-centralidade é obtido em função das seguintes grandezas: $1-\beta_0$ e α_0 , que são respectivamente o poder de teste e o nível de significância. Os valores de δ_0 são obtidos a partir de tabelas.

De acordo com NADAL, JULIANO e RATTON (2003, p. 252), para aplicar esse teste devem ser observadas as seguintes condições:

- aplicar após o ajustamento;
- os pesos aplicados no ajustamento devem ser apropriadamente escolhidos para evitar a distribuição dos erros nos resíduos; e
- o nível de significância adotado, no teste *Data Snooping* chamado de parâmetro de não-centralidade δ_0 , deve ser o mesmo escolhido no teste do Qui-quadrado, para verificação da bondade do ajustamento.

2.10 NORMA INTERNACIONAL ISO17123 – PARA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR HORIZONTAL

A norma internacional que estabelece as diretrizes para procedimentos de testes com instrumentos ópticos é denominada ISO17123 – *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites*, sendo sua primeira versão datada de 01/12/2001.

Neste item são apresentadas resumidamente considerações de normas auxiliares, termos e definições, modelos matemáticos e modelos de medições de ângulos horizontais. É importante ressaltar que esta norma estabelece testes completos e testes simplificados de campo.

2.10.1 Testes Completos de Campo

Os testes completos de campo possuem como característica a observação de 5 alvos, nos quais devem ser realizadas 4 séries de medidas, sendo que cada série é

formada por 3 conjuntos de observações. Cada conjunto é representado pela observação em posição direta (PD) e posição inversa (PI) dos 5 cinco alvos distribuídos em torno de um pilar central. A cada novo conjunto deve ser feita uma reiteração no equipamento de 60°, este procedimento é realizado para que as leituras sejam feitas contemplando toda a extensão do limbo horizontal. Desta forma um teste completo possui 60 observações em PD e 60 observações em PI, somando ao final do teste 120 observações (ISO17123-3, p.04). A análise da precisão dos equipamentos é realizada em função do desvio-padrão experimental obtido, que pode ser entendido como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos resíduos das i séries medidas. A avaliação dos valores medidos é realizada em função de equações de ajustamento de observações. A seqüência de cálculo pode ser verificada na referida norma.

Para os testes estatísticos, são interpretados os resultados obtidos para o desvio padrão experimental, s , de uma direção horizontal observada em ambas posições da luneta (PD e PI), que deve satisfazer as seguintes condições (ISO17123-3, p.06):

- O desvio-padrão experimental, s , é menor do que o valor, σ , indicado pelo fabricante ou menor do que um outro valor pré-determinado para, σ .
- Dois desvios-padrão experimentais, s e \bar{s} , determinados por duas diferentes amostras de observações, pertencentes a mesma população, assumem que ambas possuem mesmo grau de liberdade, ν .

Com relação aos dois desvios-padrão experimentais, s e \bar{s} , mencionados acima, podem ser obtidos das seguintes formas (ISO17123-3, p.07):

- a) Duas amostras de observações, do mesmo equipamento obtidas por diferentes observadores;
- b) Duas amostras de observações, do mesmo equipamento em diferentes horários ou épocas;

c) Duas amostras de observações de diferentes instrumentos.

Para a continuação da análise estatística, define-se o nível de confiança das observações como sendo $1-\alpha = 0,95$ e o número de graus de liberdade, como definido anteriormente, $v=32$. No quadro 2.4, são apresentadas as considerações possíveis para os testes estatísticos (ISO17123-3, p.07).

Avaliação	Hipótese nula	Hipótese alternativa
a) Desvio padrão experimental é menor ou igual ao desvio padrão dado pelo fabricante.	$s \leq \sigma$	$s > \sigma$
b) Os dois desvios padrão analisados pertencem a mesma amostra.	$s = \bar{s}$	$s \neq \bar{s}$

QUADRO 2.4 – Avaliação dos testes estatísticos
FONTE: ISO17123-3

As considerações matemáticas acerca dos testes estatísticos são apresentadas a seguir (ISO17123-3, p.07):

Avaliação a: a hipótese nula é aceita se o desvio padrão experimental, s , de uma direção horizontal observada em duas posições da luneta, for igual ou menor do que um valor teórico ou predeterminado pelo fabricante do equipamento, σ . Para isso a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$s \leq \sigma \times \sqrt{\frac{\chi^2_{1-\alpha}(v)}{v}} \quad (31)$$

onde:

$$\chi^2_{0,95}(32) = 46,19 \text{ (valor tabelado nos livros estatísticos)}$$

Caso contrário a hipótese nula é rejeitada.

Avaliação b: a hipótese nula é aceita caso as duas amostras analisadas pertençam a mesma população, $s = \bar{s}$. Para isso, a seguinte condição deve ser satisfeita:

$$\frac{1}{F_{1-\alpha/2}(v, v)} \leq \frac{s^2}{s^2} \leq F_{1-\alpha/2}(v, v) \quad (32)$$

Onde:

$F_{0,975}(32,32) = 2,02$ (valor tabelado nos livros estatísticos)

Caso contrário, a hipótese nula é rejeitada.

2.10.2 Teste Simplificado

A avaliação dos resultados do teste simplificado é realizada em função do ajustamento de equações de observação. São observados 4 alvos. Deve ser realizada 1 séries de medidas, sendo que esta série é composta por 3 conjuntos de observações. Cada conjunto é representado pela observação em posição direta (PD) e posição inversa (PI) dos 4 alvos distribuídos em torno do pilar central. Desta forma um teste simplificado possui 12 observações em PD e 12 observações em PI, somando ao final do teste 24 observações. A análise da precisão dos equipamentos é realizada em função do desvio-padrão experimental obtido, que pode ser entendido como a raiz quadrada da soma dos quadrados dos resíduos das i séries medidas. A sequência de cálculo pode ser acompanhada na referida norma.

2.11 NORMA INTERNACIONAL ISO 17123-3 PARA CLASSIFICAÇÃO ANGULAR VERTICAL

A norma internacional ISO17123 – *Optics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites*, indica as configurações necessárias para montagem da base de campo.

Neste item são apresentadas considerações de normas auxiliares, termos e definições, modelos matemáticos e modelos de medições de ângulos verticais. Para avaliação dos ângulos verticais são apresentados os testes simplificado e completo.

2.11.1 Configuração do Teste de Campo

O equipamento a ser testado deve ser instalado a uma distância de aproximadamente 50 m do conjunto de alvos. Os ângulos verticais entre os alvos devem contemplar uma amplitude de aproximadamente 30°, conforme a figura 2.17 (ISO17123-3, p.08).

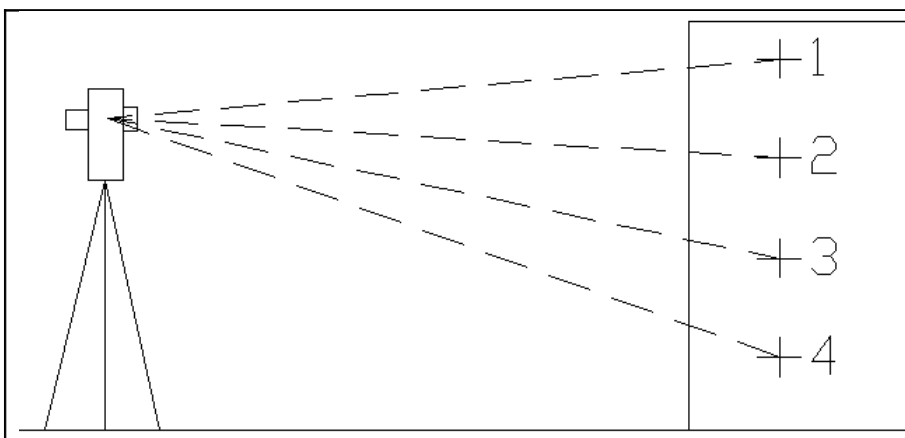


FIGURA 2.17 – Esquema da base para classificação angular vertical de acordo com a ISO1712-3
FONTE: ISO17123-3 (2001)

2.11.2 Obtenção das medições (observações)

Para o início das medições, é necessária a climatização do equipamento a temperatura ambiente. O tempo necessário para esta tarefa é de aproximadamente 2 minutos para cada grau Celsius de diferença de temperatura.

Para o teste simplificado é necessário: $m = 1$ série de medidas, $x_{j,k}$ de um conjunto observado em ambas posições da luneta. Esta série de medidas consiste em $n=3$ conjuntos (j), com 4 alvos (k) cada conjunto.

Para o teste completo é necessário: $m = 4$ séries de medidas (i), $x_{j,k}$ de um conjunto observado em ambas posições da luneta. Cada série de medidas consiste em

$n=3$ conjuntos (j), com 4 alvos (k) cada conjunto (ISO17123-3, p.08). Os cálculos e análises dos resultados podem ser encontrados na referida norma.

2.11.3 Testes Completos

A avaliação das observações medidas para o teste é realizada por um ajustamento por mínimo quadrados das equações de observação. Sendo que as i séries de medidas, para um ângulo vertical (normalmente ângulo zenital) é observado nas duas posições da luneta. No teste completo, cada uma das 4 séries de medidas é analisado separadamente. Os procedimentos de cálculos envolvidos no teste completo são apresentados na referida norma.

2.11.4 Teste Simplificado

A avaliação dos valores medidos para o teste é realizada por um ajustamento por mínimos quadrados das equações de observação. Sendo que as i séries de medidas, para um ângulo vertical (normalmente ângulo zenital) é observado nas duas posições da luneta.

Para o teste simplificado é necessário: $m = 1$ séries de medidas (i), $x_{j,k}$ de um conjunto observado em ambas posições da luneta. Cada série de medidas consiste em $n=3$ conjuntos (j), com 4 alvos (k) cada conjunto (ISO17123-3, p.08).

Os procedimentos de cálculos envolvidos no teste simplificado podem ser encontrados na referida norma.

3. METODOLOGIA

A metodologia desenvolvida para este trabalho se subdivide em dois itens distintos:

- Metodologia para determinação de erros nas leituras das direções horizontais.
- Metodologia para classificação das componentes angulares (horizontal e vertical) de teodolitos e estações totais em laboratório e automatização deste processo.

A primeira metodologia desenvolvida corresponde a empregada para avaliar a existência de erros nas leituras das direções horizontais, e é composta das seguintes etapas:

- Estudo do Método de Bruhns e desenvolvimento do Método da Barra ;
- Desenvolvimento do protótipo de alvo para aplicação do método;
- Obtenção das observações e realização dos cálculos; e
- Análises e conclusões sobre os resultados.

A metodologia para a classificação das componentes angulares (horizontal e vertical) de teodolitos e estações totais em laboratório é composta pelas seguintes etapas:

- Análise dos instrumentos disponíveis para utilização como colimadores;
- Desenvolvimento do projeto da bancada, bem como da distribuição dos colimadores sobre a mesma;

- Estudo e desenvolvimento da iluminação dos colimadores desenvolvidos a partir de teodolitos;
- Testes preliminares da viabilidade do emprego de teodolitos DF Vasconcelos, como colimadores;
- Análise da influência de diferentes iluminações nas observações realizadas nos colimadores;
- Primeiro teste de classificação horizontal em laboratório utilizando a TC 2002, utilizando os parâmetros da NBR 13.133;
- Teste nas bases de campo e do laboratório para comparação de resultados;
- Montagem da iluminação dos colimadores com circuito composto por leds;
- Testes na base horizontal do laboratório utilizando os colimadores construídos;
- Desenvolvimento da planilha eletrônica de cálculo e certificação do resultado da classificação horizontal conforme a ISO 17123-3;
- Desenvolvimento da planilha eletrônica de cálculo e certificação do resultado da classificação vertical conforme a ISO 17123-3;
- Implantação da base vertical no laboratório conforme a ISO17123-3, utilizando os colimadores construídos;
- Instalação dos colimadores Leica na base do laboratório;
- Teste na base do laboratório com os colimadores Leica;
- Comparação entre os resultados das três bases (campo, laboratório com colimadores construídos e laboratório com colimadores Leica); e
- Análise dos resultados obtidos.

3.1 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ERROS NAS LEITURAS DAS DIREÇÕES HORIZONTAIS

Para a realização de trabalhos em campo, ou de calibração, verificação e classificação de equipamentos como teodolitos e estações totais, existe a necessidade de verificar o perfeito funcionamento do aparelho, no que diz respeito a leitura e realização das medidas. Recomenda-se então que, periodicamente sejam realizados testes como o do Método da Barra, para auxiliar a identificar problemas na qualidade dos dados.

O método empregado neste trabalho para a verificação da existência de erros de graduação dos limbos é o “Método da Barra”. Para viabilizar sua adaptação foram realizadas algumas modificações e estudos preliminares, que serão apresentados na sequência.

3.1.1 Estudo do Método de Bruhns e Desenvolvimento do Método da Barra

Para a aplicação deste método em laboratório na verificação de limbos de teodolitos e estações totais, foram necessárias algumas adaptações. A fundamentação teórica pode ser encontrada no item 2.7 deste trabalho, e o método prático foi aplicado por BOCZKO (1979). Este método foi implementado na determinação dos erros de graduação dos dois círculos graduados do Círculo Meridiano do Observatório Abraão de Moraes do Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo (USP), instalado na cidade de Valinhos no estado de São Paulo. Neste caso, foi instalado um sistema fotoelétrico de medição de apontamentos. O propósito deste sistema é fornecer medidas automáticas de quatro posições do círculo, para um dado apontamento da luneta (BOCZKO, 1979, p. 66).

O sistema implantado no Observatório utiliza quatro microscópios já existentes, aos quais foram adaptados quatro dispositivos de varredura fotoelétrica,

juntamente com quatro lâmpadas para iluminação. Esses dispositivos foram conectados a uma central de codificação e impressão de dados. Maiores informações sobre o funcionamento deste sistema podem ser obtidos em BOCZKO (1979).

A aplicação deste método para a verificação de limbos de teodolitos e estações totais, aproveitando o espaço do Laboratório de Instrumentação Geodésica II (LAIG II), foi adaptada criando-se uma série de rosetas que juntas propiciam a verificação dos 360° do limbo com leituras de 5° em 5°.

O método adaptado consiste da locação de 7 alvos dispostos horizontalmente, sendo 5 espaçados de 15° e 2 espaçados de 5° um do outro. Os primeiros 5 alvos representam os seguintes ângulos 60°, 45°, 30°, 15°, 0°. Os 2 últimos alvos correspondem aos alvos chamados “índices de zero” e correspondem a 5° e 10°, conforme mostra a figura 3.1.

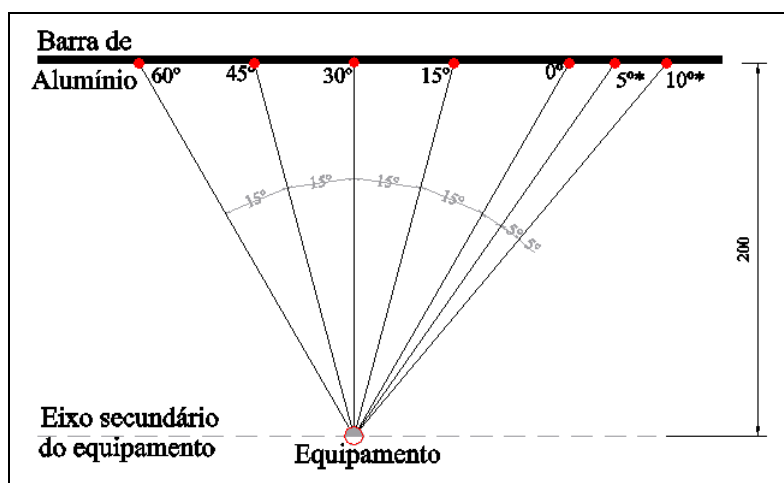


FIGURA 3.1 – Posicionamento dos alvos para o Método de Bruhns
FONTE: A autora (2006)

O conjunto de alvos presentes na barra e o equipamento em teste é instalado a uma distância pré-definida (2 m). Dessa forma, torna-se possível observar os diâmetros em PD (posição direta) e os diametralmente opostos.

Para contemplar de leituras nos 360° do limbo, são necessárias 3 rosetas, com 3 séries cada, sendo a sequência de obtenção das leituras demonstrada a seguir:

Primeira Roseta

- **1ª série da 1ª roseta:** limbo orientado em 0°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 60° (figura 3.2a);
- **1ª série da 1ª roseta oposta:** limbo orientado em 180°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 240° (figura 3.2b);
- **2ª série da 1ª roseta:** limbo orientado em 0°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 65°. O índice de zero 5°* corresponde a um dos dois últimos alvos posicionados a direita da barra. Este alvo serve como orientação para acrescentar 5° as leituras realizadas na segunda série da roseta (figura 3.2a).
- **2ª série da 1ª roseta oposta:** limbo orientado em 180°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 245° (figura 3.2b);
- **3ª série da 1ª roseta:** limbo orientado em 0°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 70°. O índice de zero 10°* tem a mesma função do índice de zero de 5°, porém acrescentando-se 10° às leituras (figura 3.2a).
- **3ª série da 1ª roseta oposta:** limbo orientado em 180°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 250°, e fechando a 1ª roseta (figura 3.2b).

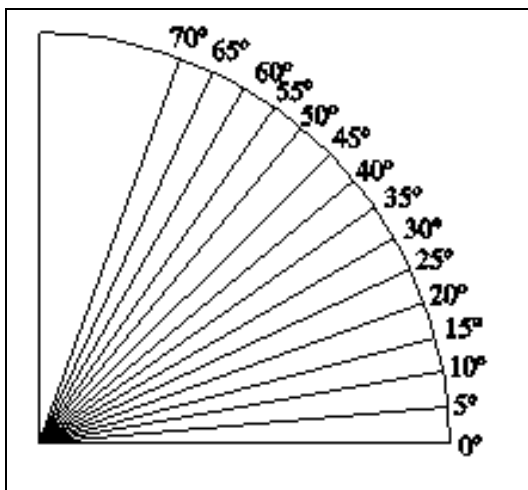


FIGURA 3.2a – Obtenção da primeira roseta
FONTE: a autora (2006)

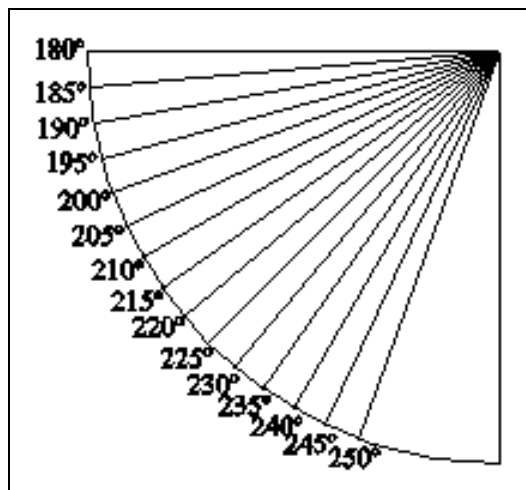


FIGURA 3.2b – Obtenção da primeira roseta oposta
FONTE: a autora (2006)

Segunda Roseta

- **1ª série da 2ª roseta:** limbo orientado em 60°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 120° (figura 3.3.a);
- **1ª série da 2ª roseta oposta:** limbo orientado em 240°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 300° (figura 3.3.b);
- **2ª série da 2ª roseta:** limbo orientado em 60°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 125° (figura 3.3.a)
- **2ª série da 2ª roseta oposta:** limbo orientado em 240°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 305° (figura 3.3.b);
- **3ª série da 2ª roseta:** limbo orientado em 60°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 130° (figura 3.3.a)
- **3ª série da 2ª roseta oposta:** limbo orientado em 240°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 310°, e fechando a 2ª roseta (figura 3.3.b).

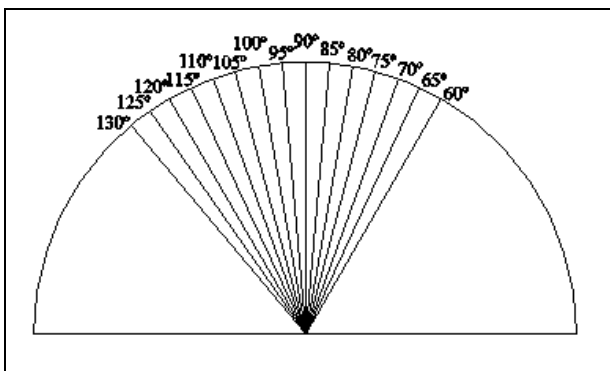


FIGURA 3.3a – Obtenção da segunda roseta
FONTE: a autora (2006)

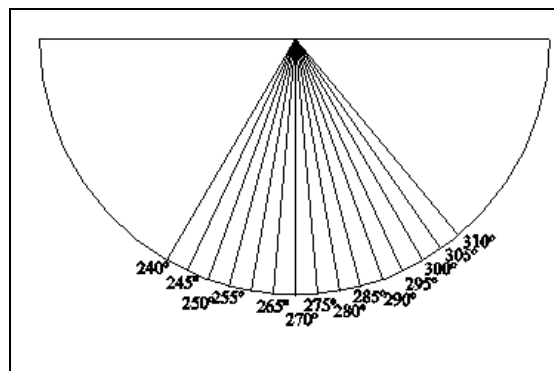


FIGURA 3.3b – Obtenção da segunda roseta
oposta
FONTE: a autora (2006)

Terceira Roseta

- **1ª série da 3ª roseta:** limbo orientado em 120°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 180° (figura 3.4a);
- **1ª série da 3ª roseta oposta:** limbo orientado em 300°, índice de zero em 0°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 0° ou 360° (figura 3.4b);
- **2ª série da 3ª roseta:** limbo orientado em 120°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 185° (figura 3.4a);
- **2ª série da 3ª roseta oposta:** limbo orientado em 300°, índice de zero em 5°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 5° (figura 3.4b);
- **3ª série da 3ª roseta:** limbo orientado em 120°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 190° (figura 3.4a) ;
- **3ª série da 3ª roseta oposta:** limbo orientado em 300°, índice de zero em 10°, faz-se leituras a cada 15°, completando a roseta em 10°, e fechando a 3ª roseta (figura 3.4b).

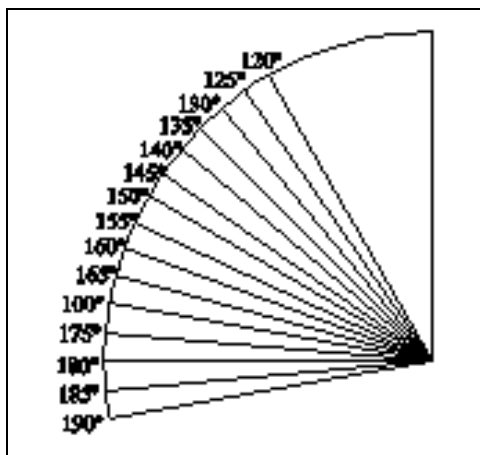


FIGURA 3.4a – Obtenção da terceira roseta
 FONTE: a autora (2006)

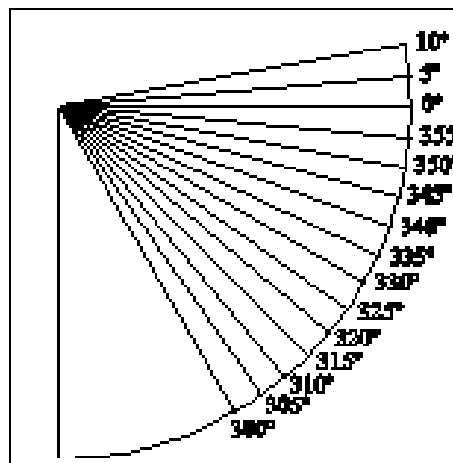


FIGURA 3.4b – Obtenção da terceira roseta
 oposta
 FONTE: a autora (2006)

A seguir no quadro 3.1, é apresentado um exemplo numérico para facilitar o entendimento da obtenção das observações (diâmetros).

Observações PD (0° a 180°)						Observações opostas (180° a 360°)					
1ªRoseta/1ªSérie		1ªRoseta/2ªSérie		1ªRoseta/3ªSérie		1ªRoseta/1ªSérie e		1ªRoseta/2ªSérie		1ªRoseta/3ªSérie	
0°	0°	5°	5°05'	10°	10°04'	180°	180°	185°	185°05'	190°	190°05'
15°	14°56'	20°	19°56'	25°	24°55'	195°	194°56'	200°	199°58'	205°	204°56'
30°	30°02'	35°	35°02'	40°	40°02'	210°	210°01'	215°	215°02'	220°	220°02'
45°	45°14'	50°	50°14'	55°	55°15'	225°	225°14'	230°	230°14'	235°	235°14'
60°	60°29'	65°	65°29'	70°	70°28'	240°	240°29'	245°	245°28'	250°	250°29'
2ªRoseta/1ªSérie		2ªRoseta/2ªSérie		2ªRoseta/3ªSérie		2ªRoseta/1ªSérie e		2ªRoseta/2ªSérie		2ªRoseta/3ªSérie	
60°	60°	65°	65°05'	70°	70°05'	240°	240°	245°	245°05'	250°	250°05'
75°	74°55'	80°	79°56'	85°	84°56'	255°	254°56'	260°	259°56'	265°	264°56'
90°	90°01'	95°	95°03'	100°	100°02'	270°	270°01'	275°	275°02'	280°	280°02'
105°	105°14'	110°	110°14'	115°	115°14'	285°	285°14'	290°	290°14'	295°	295°14'
120°	120°29'	125°	125°29'	130°	130°29'	300°	300°30'	305°	305°29'	310°	310°29'
3ªRoseta/1ªSérie		3ªRoseta/2ªSérie		3ªRoseta/3ªSérie		3ªRoseta/1ªSérie e		3ªRoseta/2ªSérie		3ªRoseta/3ªSérie	
120°	120°	125°	125°06'	130°	130°05'	300°	300°	305°	305°06'	310°	310°05'
135°	134°56'	140°	139°55'	145°	144°56'	315°	314°57'	320°	319°56'	325°	324°56'
150°	150°02'	155°	155°02'	160°	160°02'	330°	330°02'	335°	335°02'	340°	340°02'
165°	165°14'	170°	170°13'	175°	175°14'	345°	345°15'	350°	350°13'	355°	355°14'
180°	180°29'	185°	185°28'	190°	190°29'	360°	0°29'	5°	5°30'	10°	10°29'

QUADRO 3.1 - Conjunto de 3 rosetas diretas e opostas, Teodolito BD-3 World (Wild)

FONTE: A autora (2006)

Cabe ressaltar que foram observados 90 diâmetros ao todo, com tempo médio para cada série de roseta de aproximadamente 9 minutos, resultando em um tempo total do teste de aproximadamente 1 hora e 30 minutos.

Uma observação é composta por: $xx^{\circ} zz' yy''$. A primeira parte da observação corresponde aos graus, a segunda parte equivale ao minutos e a terceira representa os segundos. No exemplo acima, o equipamento possui precisão de $1'$, portanto existem valores para graus e minutos nas suas observações.

As leituras realizadas a partir do índice de zero 0° correspondem aos valores relacionados nas colunas da 1ª Série, índice de zero 5° correspondem a 2ª Série e índice de zero 10° equivalem a 3ª Série. A variação entre as rosetas se dá pela reiteração de 60° do equipamento no início de cada roseta, como por exemplo:

- $0^{\circ}, 15^{\circ}, \dots, 60^{\circ}$ (1ª roseta/1ª série): índice de zero 0° e sem reiteração;
- $5^{\circ}, 20^{\circ}, \dots, 65^{\circ}$ (1ª roseta/2ª série): índice de zero $5^{\circ*}$ sem reiteração;
- $10^{\circ}, 25^{\circ}, \dots, 40^{\circ}$ (1ª roseta/3ª série): índice de zero $10^{\circ*}$ sem reiteração;
- $60^{\circ}, 75^{\circ}, \dots, 120^{\circ}$ (2ª roseta/1ª série): índice de zero 0° e com reiteração 60° ;
- $65^{\circ}, 80^{\circ}, \dots, 125^{\circ}$ (2ª roseta/2ª série): índice de zero $5^{\circ*}$ com reiteração de 60° ;
- $70^{\circ}, 85^{\circ}, \dots, 130^{\circ}$ (2ª roseta/3ª série): índice de zero $10^{\circ*}$ com reiteração de 60° ;
- $120^{\circ}, 135^{\circ}, \dots, 180^{\circ}$ (3ª roseta/1ª série): índice de zero 0° e com reiteração 120° ;
- $125^{\circ}, 140^{\circ}, \dots, 185^{\circ}$ (3ª roseta/2ª série): índice de zero $5^{\circ*}$ com reiteração de 120° ;
- $130^{\circ}, 145^{\circ}, \dots, 190^{\circ}$ (3ª roseta/3ª série): índice de zero $10^{\circ*}$ com reiteração de 120° ;

Uma forma de conferência e verificação rápida do método é pela análise da parte referente aos minutos (no exemplo acima). As quantidades referentes aos minutos devem ser constantes, pois os ângulos são fixos, variáveis são as leituras. Esta propriedade é fundamental para o método, pois quando houver erro de graduação o

mesmo será detectado quando a leitura discordar das leituras repetidas (parte referente aos minutos).

Com metodologia implementada é possível executar a leitura em todos os 360° do limbo horizontal, utilizando três rosetas com amplitude de 60° cada uma, onde são lidos ângulos com intervalos de 5° , como apresenta a figura 3.5.

Por definição, o método apresenta a necessidade de se observar os ângulos e seus opostos, como por exemplo: 30° e seu ângulo diametralmente oposto, 210° .

De forma resumida, a adaptação desenvolvida para o Método da Barra apresenta a seguinte configuração:

- São utilizados 4 alvos (fixos) na posição direta, dispostos a cada 15° ;
- Empregam-se em cada conjunto, 3 alvos para índices de zero (0° , 5° e 10°);
- Tempo de leitura reduzido para cada série (10 observações), isso garante que as condições ambientais se mantenham durante o período de observação;
- Cada série possui 10 observações;
- Cada roseta possui 3 séries (índices de zero diferentes);
- Total de cada roseta 30 observações; e
- São realizadas 3 rosetas, gerando um total de 90 observações.

Este método adaptado proporciona uma solução prática e viável para verificações de limbos horizontais com relação a suas graduações.

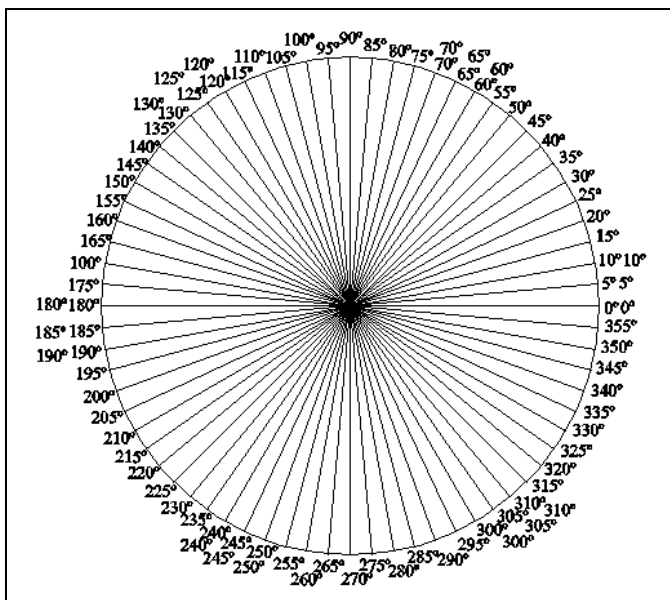


FIGURA 3.5 – Três rosetas sobrepostas
 FONTE: A autora (2006)

As planilhas com os valores observados em todos os testes encontram-se no Anexo 1 deste trabalho.

3.1.2 Desenvolvimento do Protótipo de Alvo para Aplicação do Método da Barra

Para a aplicação deste método foi necessário o desenvolvimento do projeto de um alvo protótipo. O alvo foi confeccionado em plástico e seus fios de retículo marcados (riscados com lâmina) sobre a superfície do plástico. Para definir as dimensões desses fios e do alvo foram desenvolvidos cálculos baseados em NADAL (1998, p. 69).

De acordo com NADAL (1998) para o cálculo são utilizadas as seguintes expressões:

$$b = 2.a + c \quad (32)$$

$$a = \frac{120.D}{M.\rho''} \quad (33)$$

onde:

b : largura do alvo;

c: largura do fio de retículo

D: distância do alvo ao teodolito ou estação total

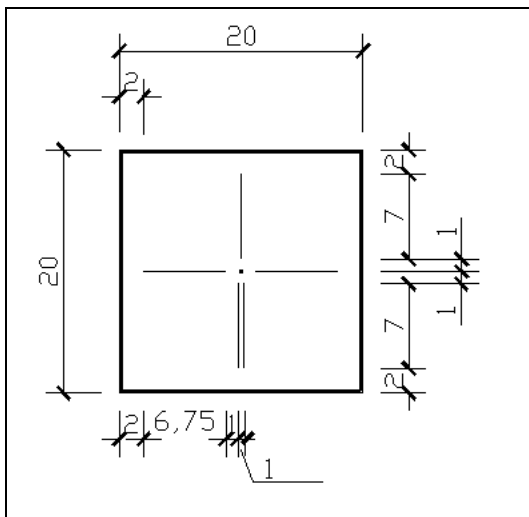
M: ampliação da luneta; e

$\rho'' = 206265''$ (constante).

Utilizando esta formulação chegou-se ao protótipo apresentado na figura 3.6.

Este protótipo apresenta as seguintes características:

- espessura dos fios de retículo é igual a 0,1 mm; e
- alvo em plástico com as seguintes dimensões 2 cm x 2 cm.



OBS.: DIMENSÕES EM MILÍMETROS

FIGURA 3.6 – Protótipo alvo

FONTE: A autora (2006)

Os alvos em plástico (figura 3.7) são fixos sobre a barra para aplicação do método. A barra foi confeccionada em alumínio, com seção quadrada de 3 cm x 3 cm e de comprimento 2,40 m. Em seu centro na parte inferior existe uma rosca que acopla um dispositivo de sustentação, tipo GTR 146 marca Leica, (figura 3.7) para adaptação da barra a uma base nivelante colocada sobre um tripé.

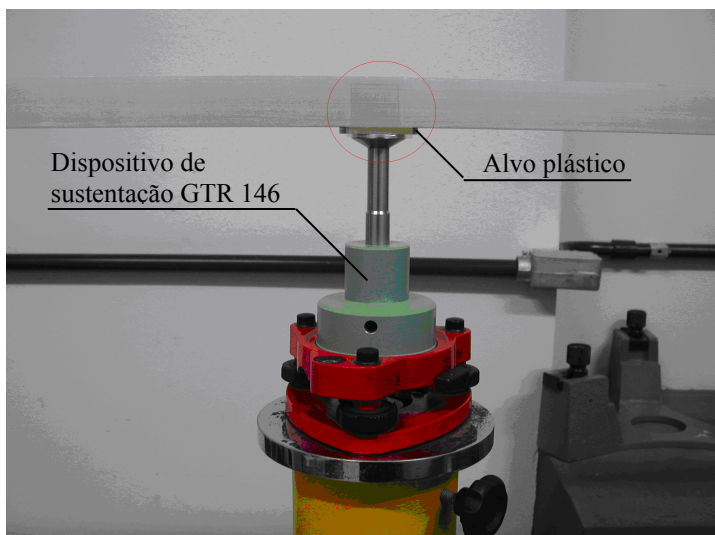


FIGURA 3.7 - Dispositivo para verificação de erros de graduação dos limbos
FONTE: A autora (2006)

3.1.3 Elaboração de Programa em MatLab para Ajustamento dos Dados Advindos das Observações do Método da Barra

O programa de ajustamento foi desenvolvido em ambiente MatLab, utilizando o ajustamento por Mínimos Quadrados nas observações das 3 rosetas. Cada roseta é avaliada separadamente, pois não há correlação entre as mesmas. Esta consideração é possível, pois a cada nova série de medidas (roseta) o equipamento é orientado de forma independente da série de observação anterior. A correlação é considerada dentro da mesma roseta somente, pois a orientação inicial é comum aos dados daquele conjunto de dados.

O programa desenvolvido para o ajustamento das observações e análise estatística dos dados, fornece como resultados a seguinte listagem: parâmetros ajustados (X_a), resíduos do ajustamento (V), variância a posteriori ($\hat{\sigma}^2$), observações ajustadas (L_a), matriz variância-covariância das correções (ΣX), matriz variância-covariância dos parâmetros ajustados (ΣX_a), matriz variância-covariância dos valores observados ajustados (ΣL_a), matriz variância-covariância dos resíduos do ajustamento (ΣV), valor de Qui-Quadrado (χ^2), matriz das redundâncias parciais (R) e os vetores dos resíduos padronizados (w_i). Os três últimos itens são parâmetros para os testes estatísticos Data Snooping e Teste Global.

Os resultados dos ajustamentos e dos testes estatísticos encontram-se no anexo 2 deste trabalho.

3.2 METODOLOGIA PARA CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES (HORIZONTAL E VERTICAL) DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS EM LABORATÓRIO

Cada etapa, desde a escolha dos equipamentos, passando pelo tipo de iluminação e filtros, até a análise dos resultados obtidos receberam atenção e a eles foram aplicados critérios de verificação. Cada uma das etapas do desenvolvimento da metodologia será descrita na sequência.

3.2.1 Análise dos Instrumentos Disponíveis para Utilização como Colimadores

Nesta etapa se iniciou a busca de soluções para a construção dos colimadores. Isto porque os colimadores comerciais possuem alto custo e a proposta desta pesquisa é apresentar uma alternativa funcional e de custo reduzido. Desta forma, se buscou opções satisfatórias com recursos disponíveis e adaptáveis.

Dentre os equipamentos disponíveis, mas que em contrapartida permitissem a solução desejada, optou-se pelo teodolito marca DF Vasconcelos (figura 3.8). Alguns destes equipamentos, devido sua utilização contínua durante anos, apresentavam algum tipo de avaria. Esses equipamentos pertencem ao Laboratório de Topografia da Universidade Federal do Paraná (LABTOPO), e vinham sendo substituídos por equipamentos digitais.

Por esse motivo, tais equipamentos estavam em desuso e o conserto e manutenção já não eram pertinentes. Entretanto, as avarias apresentadas nestes equipamentos encontravam-se na parte mecânica dos mesmos, como por exemplo, nas bases nivelantes. Mas suas lunetas, que são do tipo analíticas, encontravam-se em ótimo estado de conservação, o que para o desenvolvimento deste trabalho torna-se ideal. Este tipo de luneta oferece a possibilidade de projetar um ponto no infinito, portanto, uma luneta com essas características, adaptada a um sistema de iluminação pode transformar-se em um colimador.

O teodolito DF Vasconcelos possui as seguintes características, de acordo com SÃO JOÃO (2004, p. 23):

- Ampliação da luneta: 28 vezes;
- Resolução de leituras dos ângulos: 1';
- Limbo horizontal graduado: 0° a 360°;
- Luneta analítica.

Numa segunda etapa, foram selecionados os teodolitos que poderiam ser disponibilizados para este trabalho. Feita a seleção passou-se a realização da identificação das avarias e limpeza das lentes. Foram selecionados a priori 6 equipamentos, dos quais 5 foram empregados para a classificação de ângulos horizontais e verticais.

Os equipamentos escolhidos passaram por uma adaptação. A parte inferior, onde se localiza a base nivelante e os parafusos calantes foi retirada. Isto se fez necessário para que o equipamento pudesse ser fixado à bancada e aos suportes metálicos (fixados na parede do laboratório, quando da realização dos experimentos para a parte vertical). Estes suportes foram fabricados de forma a comportar estes instrumentos de forma estável.

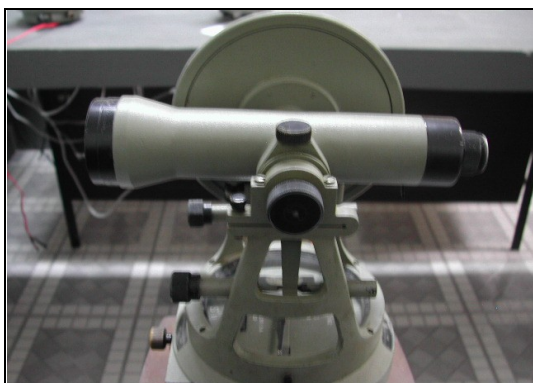


FIGURA 3.8 – Teodolito DF Vasconcelos
FONTE: A autora (2007)

3.2.2 Desenvolvimento do Projeto da Bancada e Distribuição dos Colimadores

O espaço reservado para implantação do laboratório possui as seguintes dimensões: 4,92 m x 4,75 m. Este ambiente comporta a bancada com os colimadores, medidor digital de temperatura e umidade (figura 3.9), dispositivo de centragem do equipamento com regulagem de altura (figura 3.10), sistema de ar-condicionado (figura 3.11), espaço reservado para armazenamento de equipamento e bancadas de apoio.



FIGURA 3.9 – Medidor digital de temperatura e umidade
FONTE: A autora (2006)



FIGURA 3.10 – Pilar central da base de classificação com regulagem de altura
FONTE: A autora (2006)



FIGURA 3.11 – Sistema de ar-condicionado
FONTE: A autora (2006)

Sobre a bancada foi previsto um arranjo com 5 colimadores, que materializam os ângulos aproximados de: 0° , 50° , 90° , 160° e 270° , como mostra a figura 3.12.

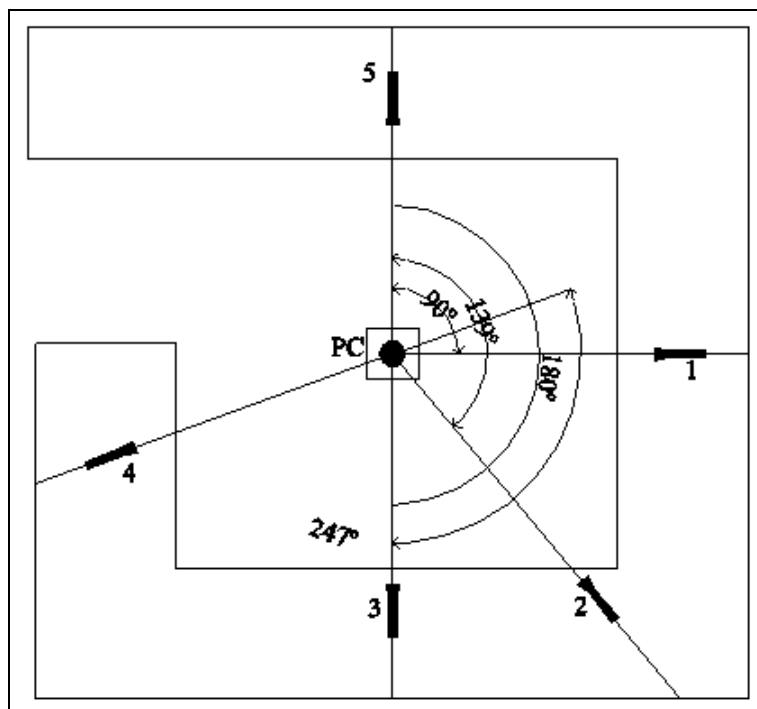


FIGURA 3.12 – Distribuição espacial dos colimadores sobre a bancada (planta)
FONTE: a autora (2006)

Na primeira fase desta pesquisa trabalhou-se apenas a componente angular horizontal. Isto pode ser justificado pela existência da norma brasileira (NBR 13.133), que prevê a classificação horizontal em campo e que foi utilizada posteriormente para verificar os resultados encontrados em laboratório. Na segunda fase do trabalho foi desenvolvida a metodologia para a componente angular vertical.

A sugestão de distribuição dos colimadores baseou-se no artigo publicado por DZIERZEGA E SCHERRER (2002) e fundamentado na norma internacional ISO 17.123 parte 3, conforme apresenta a figura 3.13.

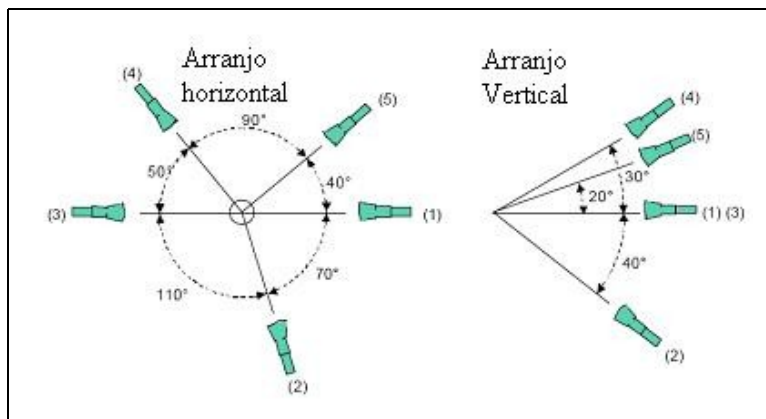


FIGURA 3.13 – Distribuição dos colimadores de acordo com a ISO 17.123-3
 FONTE: DZIERZEGA E SCHERRER (2002)

3.2.3 Estudo e Desenvolvimento da Iluminação dos Colimadores

Concluída a primeira etapa que consistia no preparo dos teodolitos (lunetas), execução do projeto, implantação da bancada e o estudo preliminar de distribuição dos colimadores, partiu-se para o estudo de iluminação e finalização dos colimadores.

A partir deste momento, inicia-se a transformação de lunetas analíticas de teodolitos em um sistema colimador, portanto doravante o sistema em construção passa a ser denominado sistema colimador ou simplesmente colimador.

O primeiro objetivo a ser atingido: observar os fios de retículo nitidamente, a partir de um outro equipamento, com iluminação agradável ao olho humano.

O princípio a ser seguido: instalar um colimador nivelado sobre a bancada e observá-lo através de um equipamento em teste, posicionado sobre o pilar central da base. Então, colimar os fios de retículo do equipamento em teste com os fios de retículo do colimador.

O primeiro sistema de iluminação testado utilizou uma lâmpada 12V incandescente (figura 3.14), ligada a uma bateria. Inicialmente a iluminação foi satisfatória, porém insuficiente nos dois colimadores posicionados nas diagonais da bancada, onde a distância diferia cerca de 3 cm além dos demais colimadores. Mesmo a tentativa de compensação de focalização não obteve sucesso. A imagem dos retículos apresentava-se turva para o observador. Isto pode provocar cansaço à visão do observador e gerar observações errôneas. As considerações acerca dessa dificuldade de focalização serão tratadas na seção de discussão dos resultados.

Dessa forma, com a dificuldade de visualização do primeiro tipo testado, partiu-se para um segundo tipo de iluminação, com lâmpada dicróica 12V (figura 3.15), também ligada a uma bateria. O resultado na observação dos fios de retículo das lunetas dos teodolitos Vasconcelos foi melhor que o da primeira iluminação testada. Em todos os colimadores a imagem dos fios apresentou-se nítida, sem sombras ou duplicidade. Porém, esta iluminação com lâmpada dicróica apresentou aquecimento na parte posterior do colimador, produzindo após determinado período de utilização, o efeito de reverberação na imagem.

Em ambas tentativas empregou-se nos colimadores um filtro amarelo. Com o decorrer dos experimentos, comprovou-se que o amarelo após algum tempo de uso proporcionava uma fadiga a visão do observador, tornando o trabalho cansativo.

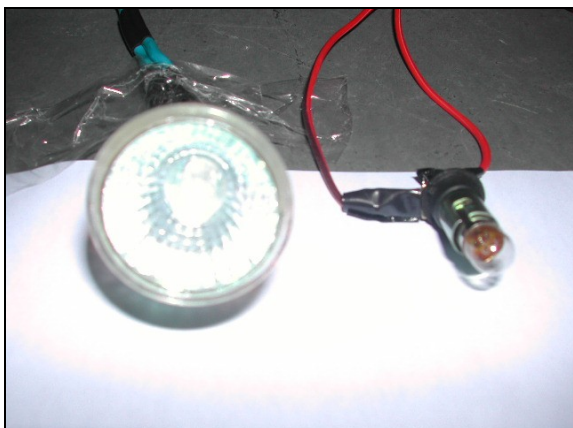
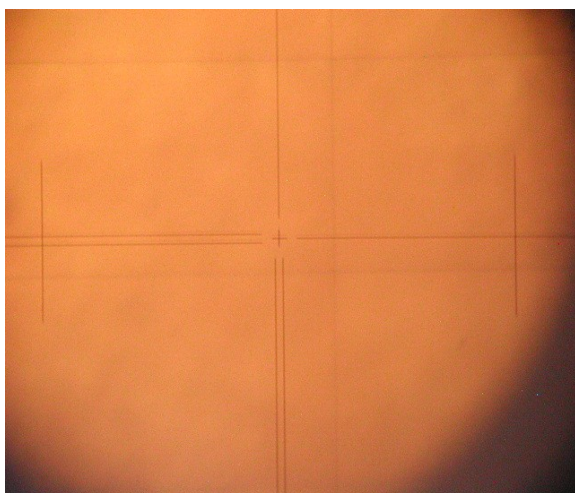
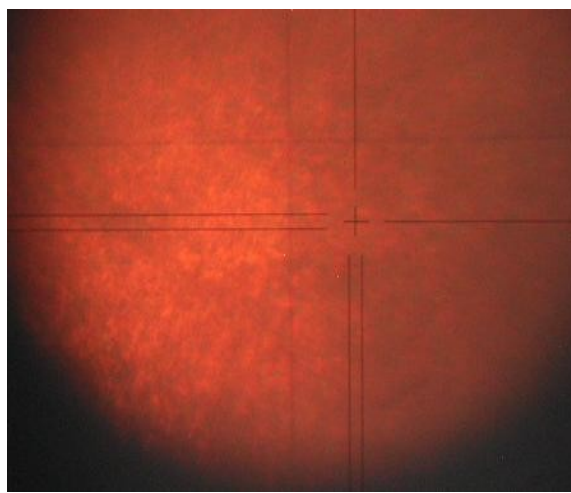


FIGURA 3.14 - Sistemas de iluminação - lâmpada dicróica e lâmpada incandescente
 FONTE: a autora (2007)

A figura 3.15 apresenta as duas configurações de visualização do retículo do colimador.



ILUMINAÇÃO DICRÓICA



ILUMINAÇÃO INCANDESCENTE

FIGURA 3.15 – DIFERENÇA DE VISUALIZAÇÃO DO RETÍCULO
 FONTE: a autora (2007)

Com o objetivo de adequar a iluminação do colimador, testou-se outra fonte de iluminação. Na terceira tentativa utilizou-se um LED (*Light Emitting Diode*). O LED é um diodo semicondutor que se energizado emite luz visível. Este dispositivo propicia

uma luz pontual intensa e fria, o que resolve o problema do aquecimento e da intensidade de iluminação.

Na tentativa de proporcionar um conforto ao observador, o filtro amarelo foi substituído por um filtro azul. Com este conjunto chegou-se ao fator desejado de iluminação, sendo esta intensa, sem a produção de calor e o filtro azul produzindo conforto visual. A iluminação alcançada com a inclusão do filtro azul ao colimador e *LEDs* brancos como fonte da iluminação. Esta iluminação propicia a visualização nítida dos fios de retículo, permitindo a colimação entre os fios de retículo do equipamento em processo de classificação e do colimador, como é apresentado pela figura 3.16.



FIGURA 3.16 - Sistemas de iluminação – *LED* branco e filtro azul

FONTE: a autora (2007)

3.2.4 Utilização de Lunetas de Teodolitos DF Vasconcelos como Sistema Colimador

Para avaliar a pertinência da utilização do teodolito Vasconcelos como um sistema colimador, foram realizados testes com diferentes equipamentos. Os

equipamentos foram instalados no pilar central da base de classificação e então, foi realizado um teste de uma série de observação com cada equipamento, analisando a qualidade de visualização dos retículos dos colimadores (lunetas Vasconcelos). Foram utilizados sete equipamentos de marcas e modelos distintos. A finalidade desta variação de equipamento era certificar que todos os tipos de instrumentos disponíveis no LABTOPO, se adequassem a realização de testes com os colimadores desenvolvidos. Isto se fez necessário para garantir que diferentes tipos de lunetas existentes nos equipamentos de medição angular poderiam ser avaliados no laboratório de classificação angular, uma vez que a diversificação de fabricantes implica em variação do sistema óptico de suas lunetas. Também foram analisadas as distâncias mínimas de focalização, ou seja, as distâncias horizontais entre os eixos verticais dos equipamentos e o eixo vertical do colimador.

Foram utilizados nesses testes: teodolito marca DF Vasconcelos, teodolito BD3 *World* marca *Wild*, teodolito T2 marca *Wild*, teodolito T100 marca *Leica*, teodolito T105 marca *Leica*, estação total TC 403L marca *Leica* e estação total TC 2002 marca *Leica*.

Após a realização dos testes de observação dos equipamentos com diferentes capacidades de ampliação acima mencionados, constatou-se que as lunetas dos teodolitos DF Vasconcelos adaptaram-se perfeitamente a sugestão proposta para o sistema colimador, pois todos os equipamentos testados apresentaram uma perfeita visualização dos retículos do colimador. A partir de então, passou-se à realização das etapas seguintes da metodologia proposta para classificação de instrumentos de medição angular.

As distâncias focais apresentaram pequenas variações entre os diversos equipamentos. Todas as variações foram completamente absorvidas quando do ajuste da distância focal no colimador. Esta conferência se fez necessária para garantir que as distâncias entre os diversos equipamentos avaliados e os colimadores permanecessem

constantes. Isto garante que a distância de focalização permanece igual em todas as séries de um teste. As distâncias focais mínimas variaram entre 1,16 m e 1,21 m.

3.2.5 Análise da Influência de Diferentes Iluminações nas Observações Realizadas

Como apresentado anteriormente no item 3.2.3, foram desenvolvidos três sistemas de iluminação. Partindo-se desses três sistemas foram realizados alguns experimentos com um único equipamento, porém variando os tipos de iluminação. Esse teste foi aplicado para avaliar se o tipo de iluminação implica em uma variável na classificação dos equipamentos, ou seja, se quando utilizado determinado tipo de iluminação isso acarreta em uma focalização que proporciona uma leitura diferente do ângulo “verdadeiro ou esperado”.

A preocupação com este evento ocorreu após algumas observações em dois diferentes colimadores que apresentavam iluminação diversa. Partindo-se do princípio que se a distância era a mesma entre o pilar central da base e os dois colimadores, não deveriam ocorrer diferenças de focalização entre o primeiro e o segundo colimador. Na busca de uma solução a esse quesito, aplicou-se dois testes: um de observação simples e um teste completo de classificação com um único equipamento, porém em duas situações de iluminação distintas.

Para estes testes foi utilizado o teodolito eletrônico T105 marca Leica. Este equipamento foi escolhido devido a sua facilidade de operação, tanto no manuseio quanto na focalização e leitura das observações. A precisão nominal deste equipamento é de 5”.

Para o teste de observação simples foi instalado o equipamento no pilar central da base do laboratório e feitas observações no colimador. Primeiro utilizou-se o colimador com lâmpada incandescente. Inicialmente realizou-se uma sequência de leituras, girando o instrumento e posicionando em diferentes ângulos. Para o segundo

teste de observação empregou-se o colimador com lâmpada dicróica. Repetiu-se a sequência de leituras, empregando os mesmos ângulos observados no primeiro teste. Os resultados das observações foram comparados.

O segundo teste consistiu na realização de 3 séries de observações em posição direta (PD) e posição inversa (PI) nos 5 colimadores posicionados sobre a bancada, os quais materializam os ângulos aproximados de 0°, 50°, 90°, 160° e 270°. Para o primeiro teste utilizou-se o sistema de iluminação com a lâmpada incandescente. No segundo teste empregou-se a lâmpada dicróica.

Este teste apresentou resultados diferentes e conclusivos. As leituras observadas foram processadas no programa de classificação angular e seus resultados serão comentados na seção 4.2.1.

3.2.6 Teste na Base de Campo e na Base do Laboratório para Comparação de Resultados

Este experimento teve por objetivo comparar as duas metodologias, de campo e de laboratório, para validar através de resultados a proposta do laboratório para classificação de instrumentos de medição angular. Cabe ressaltar que a metodologia empregada baseou-se na NBR13133 para ambas as bases, ou seja, foram empregados 4 colimadores no laboratório e 4 pilares no campo.

A base de campo da UFPR localiza-se na região próxima a piscina e a pista de atletismo da UFPR, campus Centro Politécnico. Essa base é constituída por um pilar central e outros quatro pilares dotados de sistema de centragem forçada, distantes do pilar central de 185 m. Essa base foi construída seguindo as orientações da norma brasileira NBR 13.133 quanto a classificação de instrumentos de medição angular em relação a componente angular horizontal, e seu desenvolvimento pode ser encontrado em MEDINA (1998).

Para este experimento foi empregada a estação total TC403L, com precisão nominal de 10". Em campo foram utilizados 4 alvos refletores, psicrômetro e guarda-sol. Na base de campo, instalou-se o equipamento no pilar central (figura 3.17) e observados os quatro pilares da base onde foram instalados os alvos refletores (figura 3.18).



FIGURA 3.17 - Estação total TC403 L posicionada sobre o pilar central da base de campo
FONTE: a autora (2006)



FIGURA 3.18 - Pilar número 4 da base de campo com alvo refletor
FONTE: a autora (2006)

No início de cada série foi observada a temperatura ambiente, que em média ficou em torno de 26,5°C. As observações foram realizadas no período da tarde, a partir das 14 horas, havia presença de vento fraco, sendo possível a realização de boa pontaria nos alvos.

Foram executadas 2 coletas de observações, cada uma com 3 séries completas (PD e PI) observando todos os pilares da base. O tempo gasto para realização do experimento considerando: o deslocamento desde o laboratório até a base de campo, a instalação dos alvos nos pilares, a instalação do equipamento, medidas sucessivas de temperatura com psicrômetro, observações nos alvos, recolhimento do material e retorno ao laboratório, foi de aproximadamente 3 horas e 40 minutos. A equipe de campo foi composta por três pessoas.

No laboratório a estação total TC403L foi instalada e nivelada no pilar central da base e foram observados os colimadores 1, 2, 3 e 4. O sistema de ar-condicionado foi ligado mantendo a temperatura ambiente em 21°C. A iluminação utilizada foi com lâmpada dicróica. Foram realizadas 3 séries completas (PD e PI) observando os quatro colimadores. O tempo gasto para realização do teste incluindo: montagem e calagem do equipamento, adaptação da iluminação nos colimadores, observação da temperatura no medidor digital, realização das observações e recolhimento do material, foi de 1 hora 21 minutos. No laboratório uma pessoa foi envolvida no processo.

Realizando um comparativo entre o tempo para a obtenção dos testes de campo e de laboratório, o laboratório mostrou-se 64% mais rápido e 66% mais econômico em relação ao número de pessoas envolvidas.

Os resultados do teste de campo e do teste de laboratório foram processados na planilha eletrônica, desenvolvida com o objetivo de classificar equipamentos de acordo com a norma brasileira NBR 13.133/1994. Os resultados e análises serão comentados no item 4.2.3 da seção de análise dos resultados. Os procedimentos envolvidos no desenvolvimento da planilha eletrônica serão abordados no item 3.2.9.

As cadernetas de campo e de laboratório encontram-se nos anexos 3 e 4 deste trabalho.

3.2.7 Montagem dos Colimadores Com Circuito de Iluminação Composto por *LEDs*

Para a perfeita alimentação do circuito de iluminação definiu-se que ao invés da utilização de baterias, seria necessária a utilização de energia elétrica como fonte. Para isso foi desenvolvido um projeto de circuito elétrico, conforme anexo 5. Este circuito foi desenvolvido para contemplar a parte horizontal de classificação e também a vertical. O circuito conta com 9 pontos de iluminação, sendo que 5 são utilizados pela base horizontal e 4 pela a base vertical, além de uma fonte conversora de tensão de 110V para 6V .

Cada um dos pontos de iluminação foi fixado em cada uma das lunetas. Para acoplar o ponto de iluminação foi necessária a retirada da ocular da luneta. E para a colocação do filtro azul, se fez necessária a retirada e desmontagem do sistema de lentes internas da luneta. O filtro foi colocado na parte posterior do sistema de lentes analíticas, e após a colocação do filtro, o sistema foi novamente montado e fixado com os parafusos de regulagem e retificação. Uma das dificuldades neste ponto foi a montagem e colocação da lente na qual são gravados os fios de retículo. Com a necessidade de desmontagem do sistema, os fios ficaram inclinados em relação ao eixo vertical. Então, foram realizados inúmeros micro-ajustes em cada parafuso de retificação até a posição adequada dos fios em relação ao eixo vertical do colimador. Finalizada esta delicada etapa de montagem e ajuste das lentes, partiu-se para a fixação do sistema iluminador. Este sistema foi posicionado no interior da luneta, com auxílio de fita adesiva, cola quente, grampos de metal e elásticos. Um detalhe importante nesta etapa, foi garantir que a iluminação pontual produzida pelo *LED*, incidisse no centro da

luneta. Isto se fez necessário para que não houvesse difusão da luz no interior da luneta, propiciando dessa forma sombras e dificuldades de focalização. A tarefa de montagem do circuito e dos colimadores consumiu alguns dias de trabalho, sendo uma das etapas mais desgastantes e delicadas, porém importante da pesquisa. A aparência final do colimador pode ser verificada pela figura 3.19.



FIGURA 3.19 – Sistema colimador
FONTE: a autora (2006)

3.2.8 Testes na Base Horizontal do Laboratório com os Colimadores Construídos

A partir da finalização do circuito elétrico e montagem do sistema iluminador, pôde-se partir para a execução da metodologia proposta pela ISO17123-3. A distribuição dos colimadores sobre a bancada manteve o arranjo sugerido pela figura 3.12. A manutenção da posição dos colimadores foi obtida com o auxílio de cola quente. Dessa forma, preservaram-se as posições de maneira prática e caso houvesse necessidade de ajuste, a cola pode ser facilmente removida. A marcação das posições angulares de cada colimador foi realizada com o auxílio da TC 2002. Posicionada no pilar central, a estação total TC 2002 foi zerada no colimador chamado de número 5 e a partir dele, foram marcados os ângulos sucessivos e aproximados de: 90°, 140°, 180° e 247°. Dessa forma foram definidas as posições dos colimadores de número 1, 2, 3 e 4.

Concluído o posicionamento e fixação dos colimadores, iniciaram-se os testes com os seguintes equipamentos: teodolitos eletrônicos T105 e T100 e estação total TC403. O procedimento utilizado foi o sugerido na ISO17123-3 Teste Completo.

Os testes de classificação angular horizontal iniciaram-se no dia 02/08/2007, com os teodolitos eletrônicos T105. Foram utilizados dois equipamentos: T105 número 4 e T105 número 5. Para estes testes utilizou-se a anotação manual das observações em uma planilha, que posteriormente eram digitadas na planilha eletrônica, para obtenção do resultado da classificação.

A segunda etapa de testes teve continuidade em 21 e 22/08/2007, com o teodolito eletrônico T100 e a estação total TC403 L, respectivamente.

O procedimento em laboratório inicia-se com o acionamento do sistema de ar-condicionado antes do início do teste, mantendo uma temperatura média entre 21°C e 22°C. A umidade relativa do ar do laboratório também é monitorada permanecendo em torno de 57% a 61%. Os equipamentos são montados (nivelados) sobre o pilar central da base, e deixados em repouso por cerca de 30 minutos para sua perfeita climatização. Após este período de pausa, o equipamento é novamente nivelado, caso seja necessário, e então se inicia a coleta de dados.

Início da Primeira Série: o observador posiciona-se, zera o equipamento no colimador de número 1 em posição direta (PD), e a partir dele começa o percurso no sentido horário em PD, passando por todos os colimadores restantes. Feito o percurso em PD, tomba-se a luneta colocando-a em posição inversa (PI) e pelo colimador de número 1 retoma-se o percurso pelo sentido horário, até a finalização do mesmo em PI. Esta finalização de percurso deve ser encarada como o encerramento do Conjunto1 de dados. Importante salientar que não se faz necessário zerar o equipamento novamente para iniciar o percurso em PI. O conjunto (percurso completo) é encerrado após a leitura em PI no colimador de número 5.

Na seqüência, se inicia o Conjunto 2 de observações, para isso deve-se reiterar o teodolito de 60° e repetir todo o procedimento do parágrafo anterior. Ao finalizar o percurso, tem-se o encerramento do Conjunto 2.

O Conjunto 3 deve ser iniciado após a reiteração de mais 60°, ou seja, 120° no limbo horizontal. O procedimento de leitura segue o passo anterior, em PD e PI. Com o fechamento do Conjunto 3, encerra-se a Primeira Série de dados. O mesmo procedimento deve ser repetido para as demais 3 séries, completando então 4 séries de dados. Cada uma das séries possui 3 conjuntos, sendo cada conjunto composto por 5 colimadores que são observados em PD e PI, totalizando 120 observações.

Pode-se notar que pelo número de observações este método torna-se exaustivo, mas o observador após o primeiro conjunto adquire certa facilidade em deslocar o equipamento, tornando-se repetitiva a aquisição das observações. Cabe ressaltar a importância da atenção na pontaria (colimação), anotação e seqüência das leituras para a finalização da classificação com êxito.

A realização dos testes ocorreu com os colimadores fixos aos suportes apenas com cola quente. Isto justificou-se porque até a realização desta etapa de testes, os ajustes nos colimadores eram freqüentes para adaptação da posição do colimador a posição de colimação dos fios de retículo. Após a conclusão dos testes os colimadores foram fixados sobre a bancada e nos suportes metálicos, através dos parafusos de fixação presentes no suporte.

As planilhas resultantes destes testes encontram-se no anexo 6, e os resultados dos mesmos serão discutidos no capítulo 4, item 4.2.3.

3.2.9 Desenvolvimento da Planilha Eletrônica de Cálculo e Certificação do Resultado da Classificação Horizontal Conforme a ISO17123-3

A planilha original foi fornecida gentilmente pelo Prof. Dr. Pedro Luís Faggion. Esta planilha calcula para 4 séries de observações completas em 4 alvos, o desvio-padrão final e a classificação do equipamento quanto a sua precisão (se baixa, média ou alta). Esta planilha foi desenvolvida em ambiente Excel, de acordo com a formulação fornecida pela NBR 13.133/1994 em seu anexo C.

Para a utilização deste programa nas observações realizadas no laboratório foram necessárias algumas modificações, como por exemplo, a entrada de dados e o número de séries envolvidas no cálculo. Isto porque em laboratório as observações são realizadas de acordo com a ISO17123-3 onde são utilizados 5 colimadores, ou seja, um a mais que no campo. Em laboratório são realizadas 4 séries completas de observações, compostas por 3 conjuntos cada uma das séries, enquanto que no campo são feitos quatro conjuntos.

Além dessas alterações, foi implementada uma planilha para avaliação estatística.

O desenvolvimento lógico da planilha segue o memorial de cálculo explicitado pela norma internacional tomada como base para este estudo. O cabeçalho da planilha requer a descrição de elementos como: equipamento em teste, data, horário de início e fim do experimento, observador, umidade, temperatura, número de séries, conjuntos e alvos, conforme mostra a figura 3.20. Alguns desses elementos entram como parâmetros de cálculo no desenvolvimento da planilha, como por exemplo: número de séries, conjuntos e alvos.

ISO 17123-3:2001 - TESTE COMPLETO			
Instrumento: T100 726236	Hora início: 14:15 h	Temperatura 22°C	m (nº de séries)
Data: 21/08/07	Hora fim: 16:11 h		4
Observador série (1): Madalena	Anotador: Madalena		j (nº de conjuntos)
Observador série (2): Madalena	Anotador: Madalena	Umidade	3
Observador série (3): Madalena	Anotador: Madalena	57%	k (nº de alvos)
Observador série (4): Madalena	Anotador: Madalena		5

FIGURA 3.20 – Cabeçalho da planilha de classificação horizontal conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

Nesta planilha o operador necessita indicar o parâmetro m, que representa o número de séries que serão realizadas no teste, o parâmetro j que indica o número de conjuntos pertencentes a cada série e finalmente o parâmetro k que considera o número de alvos (colimadores) empregados. Ainda para controle do teste se faz necessária a indicação de temperatura e umidade.

No corpo da planilha o observador necessita entrar com os dados de observação, ou seja, os ângulos medidos em PD e PI, conforme a figura 3.21.

1ª SÉRIE							
conjunto		X 1,k,I (PD)			X 1,k,II (PI)		
		(°)	(')	(")	(°)	(')	(")
1	1	0	0	0,0	180	0	10,0
	2	89	5	0,0	269	4	50,0
	3	138	29	30,0	318	29	10,0
	4	180	4	0,0	0	3	50,0
	5	248	54	20,0	68	54	10,0

FIGURA 3.21 – Campos de entrada de dados angulares na planilha de classificação horizontal conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

A planilha foi elaborada realizando-se as considerações pertinentes em função das transformações de graus sexagesimais para graus decimais, cálculo de ângulos

horizontais, média angular, resíduos dos ângulos medidos em relação a média angular, resíduo angular total de cada série individualmente, desvio padrão de cada série individualmente, graus de liberdade de cada série em função do número de conjuntos e número de alvos, graus de liberdade total em função do número de série e desvio-padrão final.

Em virtude do desvio-padrão final, classifica-se o equipamento em alta, média ou baixa precisão de acordo com o quadro 3.2, baseada na NBR13133.

Classes de equipamentos	Desvio-padrão Precisão angular
1 – Precisão baixa	$\leq \pm 30''$
2 – Precisão média	$\leq \pm 07''$
3 – Precisão alta	$\leq \pm 02''$

QUADRO 3.2 – Classificação angular horizontal conforme NBR13133

FONTE: NBR 13.133 (1994)

A figura 3.22 apresenta de forma resumida os resultados obtidos no experimento, de acordo com os procedimentos da ISO17123-3 e tabela da NBR13133.

CLASSIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO (ÂNGULOS HORIZONTAIS)- TESTE COMPLETO		
INSTRUMENTO DE MÉDIA PRECISÃO		
Desv. Padrão série 1 (S1) (")	Desv. Padrão série 3 (S3) (")	Graus de liberdade p/ i série (GLi)
3,6514	4,6547	8
Desv. Padrão série 2 (S2) (")	Desv. Padrão série 4 (S4) (")	Graus de liberdade p/ todas as séries (GL)
3,9264	5,5527	32
Desvio Padrão Experimental S (")	Características do Equipamento	
4,51	Bom estado de conservação	

FIGURA 3.22 – Resultado final obtido na classificação horizontal conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

A planilha de classificação encerra-se após a obtenção do desvio-padrão experimental S , que indica a classificação do equipamento. O passo seguinte realiza a análise estatística do grupo de observações. Conforme apresentado na norma ISO 17123-3, existem alguns questionamentos acerca do desvio-padrão experimental

calculado e do desvio-padrão fornecido pelo fabricante, e também com relação a homogeneidade da população de dados. Feitas as ponderações o resultado alcançado é explicitado, como no exemplo apresentado na figura 3.23.

TESTE ESTATÍSTICO DA CLASSIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO (ÂNGULOS HORIZONTAIS)	
"O desvio-padrão experimental S , é menor/igual ao desvio padrão, S_f , fornecido pelo fabricante"	
Desvio padrão experimental	Desvio padrão do fabricante
calculado S (")	S_f (")
8,00	10
"HIPÓTESE NULA ACEITA - RESULTA OK - $S < S_f$"	
"Considerando dois desvios padrão experimentais calculados, sendo: S o desvio padrão experimental calculado na classificação e S_{menor} , o menor desvio padrão experimental calculado entre as 4 séries. Estes dois desvios padrão pertencem a mesma população?"	
Desvio padrão experimental	Menor desvio padrão calculado
calculado S (")	nas 4 séries: S_{menor} (")
Desv. Padrão série 2 (S_2) (")	3,6514
"HIPÓTESE NULA ACEITA"	
"Os dois desvios-padrão experimentais PERTENCEM A MESMA POPULAÇÃO"	

FIGURA 3.23 – Resultado do teste estatístico obtido na classificação horizontal conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

No desenvolvimento das planilhas, de cálculo e análise estatística, foi necessário compatibilizar informações das normas vigentes, além da pesquisa sobre programação e *links* entre planilhas no ambiente Excel.

3.2.10 Desenvolvimento da Planilha Eletrônica de Cálculo e Certificação do Resultado da Classificação Vertical Conforme a ISO 17123-3

A planilha eletrônica para a classificação vertical foi desenvolvida baseada na ISO17123-3. Neste caso foram consideradas 4 séries de observações, sendo cada série composta por 3 conjuntos e cada conjunto formado por 4 alvos (colimadores). Também foi implementada uma planilha para avaliação estatística.

O desenvolvimento lógico da planilha segue o memorial de cálculo explicitado pela norma internacional tomada como base para este estudo. O cabeçalho da planilha requer a descrição de elementos como: equipamento em teste, data, horário de início e

fim do experimento, observador, umidade, temperatura, número de séries, conjuntos e alvos, conforme mostra a figura 3.24. Alguns desses elementos entram como parâmetros de cálculo no desenvolvimento da planilha, como por exemplo: número de séries, conjuntos e alvos.

ISO 17123-3:2001 - TESTE COMPLETO						
Instrumento:		T105 4	Hora início: 17h 08min		Temperatura	m (nº de séries)
Data:		10/2/2008	Hora fim: 19 h 05 min			4
Observador série 1:		Madalena	Anotador:Madalena		21°C	n (nº de conjuntos)
Observador série 2:		Madalena	Anotador:Madalena			3
Observador série 3:		Madalena	Anotador:Madalena		Umidade	t (nº de alvos)
Observador série 4:		Madalena	Anotador:Madalena			4
					61%	

FIGURA 3.24 – Cabeçalho planilha de classificação vertical conforme ISO17123-3 – teste completo
 FONTE: a autora (2008)

Nesta planilha o operador necessita indicar o parâmetro m, que representa o número de séries que serão realizadas no teste, o parâmetro j que indica o número de conjuntos pertencentes a cada série e finalmente o parâmetro t que considera o número de alvos (colimadores) empregados. Ainda para controle do teste se faz necessária a indicação de temperatura e umidade.

No corpo da planilha o observador necessita entrar com os dados de observação, ou seja, os ângulos medidos em PD e PI, conforme a figura 3.25.

1ª SÉRIE							
conjunto		Z 1,k,I (PD)			Z 1,k,II (PI)		
		(°)	(')	(")	(°)	(')	(")
1	1	296	42	32,0	63	17	50,0
	2	270	31	50,0	89	28	7,0
	3	246	7	8,0	113	52	56,0
	4	234	42	31,0	125	17	16,0

FIGURA 3.25 – Campos de entrada de dados angulares na planilha de classificação vertical conforme ISO17123-3 – teste completo
 FONTE: a autora (2008)

A planilha foi elaborada considerando transformações de graus sexagesimais para graus decimais, cálculo de ângulos horizontais, média angular, resíduos dos ângulos medidos em relação a média angular, resíduo angular total de cada série individualmente, desvio-padrão de cada série individualmente, graus de liberdade de cada série em função do número de conjuntos e número de alvos, graus de liberdade total em função do número de séries e desvio-padrão final.

A ISO17123-3 aplica as considerações acerca de verificação do equipamento em relação as grandezas angulares horizontal e vertical. A classificação do equipamento em alta, média ou baixa precisão é realizada em virtude da NBR 13133. Contudo a norma brasileira, não contempla a classificação vertical. Face a esta questão optou-se por utilizar a mesma classificação sugerida para a componente horizontal. Então, em virtude do desvio padrão final, classificar-se-á o equipamento em alta, média ou baixa precisão de acordo com o quadro 3.3 baseada na NBR13.133.

Classes de equipamentos	Desvio-padrão Precisão angular
1 – Precisão baixa	$\leq \pm 30''$
2 – Precisão média	$\leq \pm 07''$
3 – Precisão alta	$\leq \pm 02''$

QUADRO 3.3– Classificação angular vertical conforme sugestão para classificação angular horizontal da NBR13133

FONTE: NBR 13.133 (1994)

A figura 3.26 apresenta de forma resumida os resultados obtidos no experimento, de acordo com os procedimentos da ISO17123-3 e tabela da NBR13133.

CLASSIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO (ÂNGULOS ZENITAIS)- TESTE COMPLETO		
INSTRUMENTO DE MÉDIA PRECISÃO		
Desv. Padrão série 1 (Sf) (")	Desv. Padrão série 3 (S3) (")	Graus de liberdade
4,562	3,170	p/ i série (GLi)
Desv. Padrão série 2 (S2) (")	Desv. Padrão série 4 (S4) (")	8,000
3,497	2,562	Graus de liberdade
Desvio Padrão Experimental S(")	Características do Equipamento	p/ todas as séries (GL)
3,523	Bom estado de conservação	32,000

FIGURA 3.26 – Resultado final obtido na classificação vertical conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

A planilha de classificação encerra-se após a obtenção do desvio-padrão experimental S , que indica a classificação do equipamento. O passo seguinte realiza a análise estatística do grupo de observações. Conforme apresentado na norma ISO 17.123-3, existem alguns questionamentos acerca do desvio-padrão experimental calculado e do desvio-padrão fornecido pelo fabricante, também com relação se a população de dados pertence à mesma amostra e finalmente com referência ao erro de índice de zero. Feitas as ponderações o resultado alcançado é explicitado, como no exemplo apresentado na figura 3.27.

TESTE ESTATÍSTICO DA CLASSIFICAÇÃO DO INSTRUMENTO (ÂNGULOS ZENITAIS)	
"O desvio padrão experimental, S , é menor ou igual ao valor do desvio padrão, S_f , fornecido pelo fabricante"	
Desvio padrão experimental calculado S (")	Desvio padrão do fabricante S_f (")
8,00	10
HIPÓTESE NULA ACEITA - RESULTADO OK	
Desvio padrão (S) calculado menor que o Desvio padrão (S_f) dado pelo fabricante	
Considerando dois desvios padrão experimentais calculados, sendo:	
S o desvio padrão experimental calculado na classificação e S_{menor} ,	
o menor desvio padrão experimental calculado entre as 4 séries.	
Estes dois desvios padrão pertencem a mesma população?	
Desvio padrão experimental calculado S (")	Menor desvio padrão calculado nas 4 séries: S_{menor} (")
Desv. Padrão série 4 (S4) (")	2,562
0,49	1,891
HIPÓTESE NULA ACEITA	
OS DOIS DESVIOS PADRÃO EXPERIMENTAIS PERTENCEM A MESMA POPULAÇÃO	
Para que a hipótese inicial de que o Erro de índice vertical é (Sig) é igual a zero, a seguinte condição deve ser satisfeita: " $ Sig \leq Ssig * T(1-\alpha/2)(GL)$ "	
Sig	2,302
S	3,497
$Ssig$	0,504751727
2,302	1,057
HIPÓTESE NULA REJEITADA - ERRO DE ÍNDICE VERTICAL DIFERENTE DE ZERO	

FIGURA 3.27 – Resultado do teste estatístico obtido na classificação vertical conforme ISO17123-3 – teste completo

FONTE: a autora (2008)

3.2.11 Implantação dos Colimadores Construídos na Base Vertical do Laboratório conforme a ISO17123-3

A base vertical foi elaborada com base nas indicações da ISO17123-3, conforme apresentado no item 2.11.1. A adaptação ao laboratório foi possível devido ao uso de colimadores, neste caso a distância em campo recomendada na norma pode ser adequada a distância focal mínima dos equipamentos.

Os colimadores construídos foram fixados na parede do laboratório. Por questões mecânicas do colimador, foi necessário o desenvolvimento de uma plataforma suporte para os colimadores. Então, foi elaborado o projeto de uma peça metálica, com as dimensões e características necessárias para suportar de forma estável o sistema colimador. O projeto desenvolvido encontra-se no anexo 7, desta pesquisa.

Conforme é apresentado na figura 3.28, o suporte possui configuração em L e na parte superior existem 4 perfurações para fixação dos colimadores. Para a fixação do suporte à parede foram empregados os seguintes equipamentos: furadeira, chaves de fenda e alicate, além de 4 parafusos em cada suporte.

A posição de cada colimador foi definida utilizando a Estação Total Topcon provida de sinal laser. Quando da definição dos ângulos verticais, alguns cuidados devem ser avaliados para que proporcione conforto ao operador na observação dos colimadores. Por esse motivo os colimadores 1 e 4, sofreram limitação do máximo e mínimo ângulo de observação. A estação foi posicionada no pilar central da base, logo que definido a angulação desejada acionou-se o sinal laser, desta forma foram marcados os ângulos zenitais aproximados de: 54°, 66°, 90° e 116°. O colimador 3 (90°) foi posicionado sobre a bancada da base horizontal.

Para o nivelamento do suporte, percorreu-se com o laser da Estação Topcon toda a extensão da parte superior do suporte. Após a fixação dos suportes com auxílio de um nível de bolha, verificou-se a horizontalidade do mesmo.



FIGURA 3.28 – Plataforma suporte para o sistema colimador vertical
 FONTE: a autora (2008)

A configuração final da base vertical pode ser observada na figura 3.29.



FIGURA 3.29 – Base de classificação angular vertical
 FONTE: a autora (2008)

3.2.12 Testes na Base de Classificação Angular Vertical com os Colimadores Construídos

Os testes de classificação angular vertical ocorreram nos dias 08 e 10/02/2008, com os teodolitos eletrônicos T105 e T100 e estação total TC403 L. Para estes testes utilizou-se a anotação manual das observações em uma planilha, que posteriormente eram digitadas na planilha eletrônica, para obtenção do resultado da classificação.

O procedimento em laboratório inicia-se com o acionamento do sistema de ar condicionado antes do início do teste, mantendo uma temperatura média de 21°C. A umidade do laboratório também foi monitorada permanecendo em torno de 61%. Os equipamentos são montados (nivelados) sobre o pilar central da bancada, permaneceram em repouso por cerca de 30 minutos para sua perfeita climatização. Após este período de pausa, o equipamento é novamente nivelado, caso seja necessário, e então se inicia a coleta de dados.

Início da Primeira Série: o observador posiciona-se, observa o colimador 1 em posição direta (PD), em seguida no 2, 3 e 4. Concluídas as leituras em PD, tomba-se a luneta e repete-se o procedimento de leitura em posição inversa da luneta (PI).

A finalização das leituras deve ser encarada como o encerramento do Conjunto1 de dados. Importante salientar que neste procedimento o equipamento não é zerado em nenhum momento.

Na seqüência, se inicia o Conjunto2 de observações, ao finalizar o Conjunto2 inicia-se o Conjunto3. Com o fechamento do Conjunto3, encerra-se a Primeira Série de dados. O mesmo procedimento deve ser repetido para as 3 séries restantes, completando então 4 séries de dados. Cada uma das séries possui 3 conjuntos, sendo cada conjunto composto por 4 colimadores que são observados em PD e PI, totalizando 96 observações.

Devido ao volume de dados, ressalta-se a importância da atenção na pontaria, anotação e sequência das leituras para a finalização da classificação com êxito. As planilhas resultantes destes testes encontram-se no anexo 8, e os resultados dos mesmos serão discutidos no capítulo 4, item 4.2.5.

3.2.13 Implantação dos Colimadores *Leica* na Base de Laboratório

Em virtude dos resultados promissores dos testes realizados no laboratório a partir dos colimadores construídos com lunetas, a pesquisa obteve um financiamento junto a Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná. Com o valor adquirido houve a possibilidade de compra de 5 colimadores Leica.

Os colimadores foram recebidos no início do ano de 2008, e imediatamente montados na base do laboratório. Este sistema colimador é constituído por: 5 colimadores, sistema para fixação, 1 caixa de distribuição (figura 3.30), sistema de iluminação (figura 3.30), parafusos, cabos e presilhas.



FIGURA 3.30 – Caixa de distribuição e sistema de iluminação
FONTE: a autora (2008)

A montagem do sistema se inicia pela acoplagem do sistema de iluminação aos colimadores. A aparência dos colimadores é muito similar a luneta do teodolito T105 e para a montagem do sistema de iluminação se fez necessária a retirada da ocular do colimador e acoplá-lo através de um sistema de rosca e encaixe. A fixação dos colimadores sobre a bancada e nas paredes é realizada por um sistema de placas de encaixe. A figura 3.31 apresenta o colimador após a finalização da montagem do sistema.

Depois da fixação de cada colimador na bancada e parede foi necessária a sua orientação na direção do pilar central. A execução da orientação torna-se delicada e sutil, pois ajustes milimétricos devem ser feitos no sistema de encaixe do colimador através de parafusos de ajuste (figura 3.31). Para esta tarefa torna-se necessária a participação de dois operadores, enquanto um realiza os ajustes, o outro observa e orienta através do equipamento posicionado no pilar da base a posição de colimação adequada. Para essa tarefa foram dispensados dois dias de trabalho.

O sistema de iluminação tem como fonte a rede de energia elétrica. Para adequação do sistema de 6V, foi necessária a inclusão de um transformador de tensão ao conjunto.

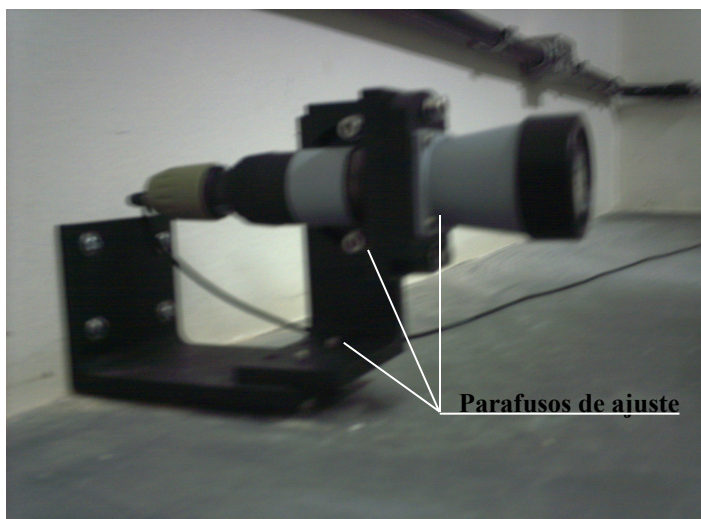


FIGURA 3.31 – Colimador Leica montado sobre a bancada do laboratório
FONTE: a autora (2008)

De acordo com o número de unidades adquiridas, se fez necessário o estudo de um arranjo para contemplar a parte horizontal e vertical da classificação. Diferentemente da montagem feita com os colimadores produzidos no laboratório, neste caso optou-se pela montagem concomitante dos colimadores horizontais e verticais, por motivos práticos e técnicos. Seriam inviáveis inúmeras montagens e desmontagens para realização dos testes horizontais e verticais separadamente. Para isto, foi necessário um estudo sobre o posicionamento adequado a cada caso, considerando o critério de praticidade no laboratório, disponibilidade dos pontos para fixação e conforto para o operador. O arranjo utilizado é apresentado na figura 3.33.

Deve-se observar que a classificação horizontal utiliza 5 colimadores na sua execução, enquanto que a classificação vertical utiliza apenas 4 colimadores. A diferenciação dos colimadores é feita através de uma nomenclatura própria para cada uma das classificações. Os colimadores que possuem uma numeração e a letra H, são utilizados na classificação horizontal. Já os colimadores com numeração de 1 a 4 e a letra V participam da classificação vertical. A seqüência para realização das observações deve ser observada de acordo com a numeração dos colimadores.

Para a agilidade do processo, as observações da classificação horizontal e vertical são realizadas ao mesmo tempo. Exemplificando, quando é observado o colimador 5H para a parte horizontal, ao mesmo tempo anota-se o ângulo vertical medido no mesmo colimador, que na classificação vertical é denominado 1V, como mostra a figura 3.32. E assim sucessivamente, como é demonstrado no esquema vertical e horizontal da figura 3.33.

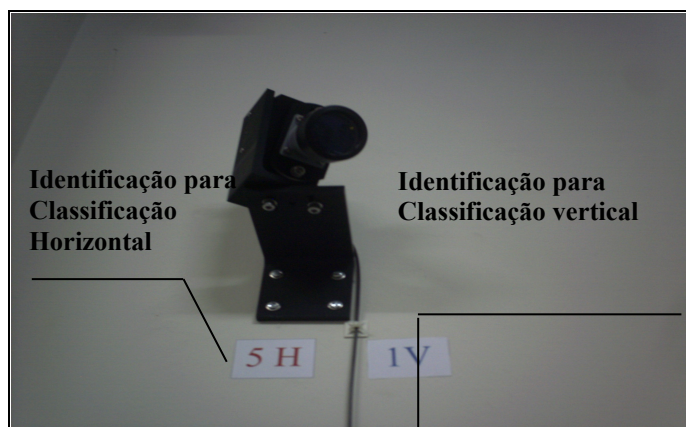


FIGURA 3.32 – Esquema de observação para classificação horizontal e vertical utilizando Colimador Leica
FONTE: a autora (2008)

Na execução das observações o operador deve manter a atenção durante toda a classificação, para que os ângulos horizontais e verticais sejam alocados em suas respectivas posições nas planilhas. Para a classificação horizontal, o sentido de observação dos colimadores é horário. E para a classificação vertical, se mantém o mesmo sentido, porém, com a inversão do colimador 3V pelo 2V na seqüência de observação.

Para facilitar a coleta de dados, foi adquirido um conjunto de mouse e teclado sem fio (figura 3.34). Esses equipamentos auxiliam o operador, pois dispensam o uso de planilha de anotação manual e o relatório da classificação é gerado logo no término da última observação. O teclado e mouse podem ser manipulados sobre a bancada e à distância do computador.

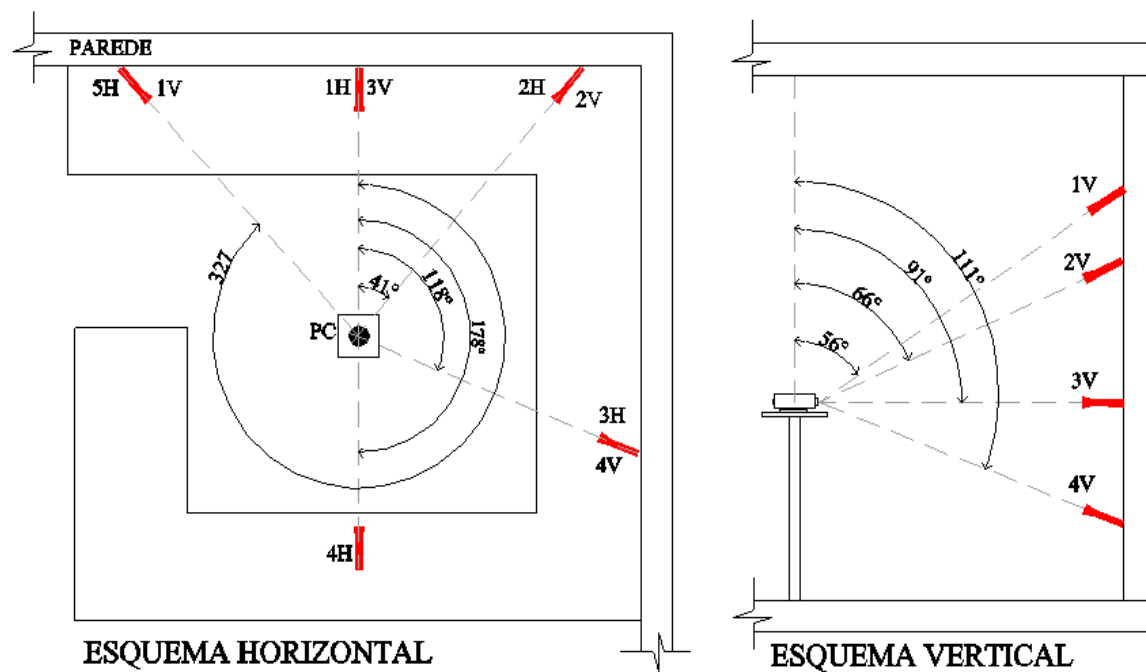


FIGURA 3.33 – Colimador Leica montado sobre a bancada do laboratório
 FONTE: a autora (2008)



FIGURA 3.34 – Teclado e mouse sem fio
 FONTE: a autora (2008)

Finalizada a etapa de montagem dos colimadores para classificação vertical e horizontal, iniciaram-se os testes.

3.2.14 Teste na Base do Laboratório com os Colimadores *Leica*

Nesta etapa do trabalho se fez necessário, além de testar os novos colimadores validar os resultados obtidos pelos colimadores construídos no laboratório. Para isso, foram realizados 5 testes para a classificação horizontal e 5 testes para a classificação vertical, sendo que duas vezes com o mesmo equipamento em cada classificação, para garantir a repetibilidade dos resultados. Os testes foram realizados nos dias 23 e 24 de maio de 2008.

Os equipamentos testados foram teodolitos eletrônicos T100, T105 (duas vezes) e a estação total TC403 L (figura 3.35).

O procedimento de execução é similar ao realizado nos colimadores construídos, descrito no item 3.2.9 deste trabalho. A climatização do ambiente deve acontecer com 30 minutos de antecedência à realização dos testes, para a adequação da temperatura dos equipamentos. O instrumento deve ser posicionado sobre o pilar central da base de classificação e na seqüência, inicia-se o procedimento de obtenção das observações.

O operador deve trabalhar com as duas planilhas de registro de observação, uma para a classificação horizontal e outra para a classificação vertical. O operador em posição direta da luneta realiza a pontaria e então zera o equipamento no colimador 1H (ver Figura 3.33). O ângulo horizontal igual a 0° deve ser anotado na planilha da classificação horizontal. Em seguida, na planilha de classificação vertical anotar o valor do ângulo vertical observado no colimador 3V. Seguindo o sentido horário de observação, faz-se a pontaria no colimador 2H e anota-se o ângulo horizontal. Anota-se o ângulo vertical no colimador 2V. Na continuação faz-se a pontaria no colimador 3H

para a classificação horizontal e no mesmo colimador registra-se o valor de ângulo vertical com descrição 4V. Neste momento o operador deve estar atento, o quarto colimador é utilizado apenas na classificação horizontal, com denominação 4H. Finalmente o último colimador é chamado de 5H na classificação horizontal e 1V na classificação vertical. No término desse roteiro, tomba-se a luneta para a posição indireta da luneta e repete-se o procedimento. Na conclusão dessa rotina obtêm-se o primeiro conjunto de observações da primeira série. O mesmo procedimento deve ser realizado em PD e PI em mais dois conjuntos para a finalização da primeira série. E para a conclusão do teste é necessário realizar mais três séries completas, totalizando 120 observações para a classificação horizontal e 96 observações para a classificação vertical.

A vantagem desta metodologia ocorre em relação ao número de pontarias realizadas. Quando se faz a pontaria para a parte horizontal aproveita-se a mesma para a parte vertical, ou seja, não se faz 120 e mais 96 observações, são ao todo 120 observações das quais 96 também são utilizados para a classificação vertical. Entretanto, tem-se como desvantagem a constante atenção do operador na troca das planilhas e alocação das observações nas mesmas.

Os resultados serão discutidos na seção 4.2.6 e 4.2.7.



FIGURA 3.35 – Teodolitos eletrônicos T100 e T105 e estação total TC403L
FONTE: a autora (2008)

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS DA METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DE ERROS NAS LEITURAS DAS DIREÇÕES HORIZONTAIS PELO MÉTODO DA BARRA

Os instrumentos testados foram: teodolito mecânico BD-3 da World que possui precisão nominal de 1', teodolitos eletrônicos T100 de precisão nominal igual a 10'' e T105 com precisão nominal de 5'', ambos da *Leica*. Com estes equipamentos foram realizadas as três séries das seis rosetas, resultando em 90 observações no total para cada equipamento. Para efeito de análise, neste capítulo é apresentado apenas um exemplo das observações de cada modelo. As demais observações encontram-se no anexo 1.

Os testes realizados com os teodolitos BD World, duraram em torno de 1 h e 35 min, cada um. Sendo que o tempo necessário para a observação de uma série foi de aproximadamente 9 minutos. Com os teodolitos eletrônicos houve uma economia de tempo na coleta, devido a facilidade de obtenção das leituras angulares. Os testes realizados com esses teodolitos tiveram uma duração de 1 h e 15 min, reduzindo o tempo de observação de cada série para 7 minutos. As observações foram realizadas de acordo com a seqüência apresentada no item 3.1.1, foram realizadas as observações. A figura 4.1 apresenta um trecho da caderneta de dados.

MÉTODO DA BARRA					
Observações (0° a 180°)					
1ª Roseta		1ª Roseta		1ª Roseta	
0°	00° 00' 00''	5°	05° 07' 02''	10°	10° 14' 20''
15°	15° 20' 10''	20°	20° 27' 12''	25°	25° 33' 22''
30°	30° 31' 02''	35°	35° 37' 03''	40°	40° 45' 35''
45°	45° 32' 19''	50°	50° 39' 17''	55°	55° 46' 13''
60°	60° 24' 13''	65°	65° 30' 15''	70°	70° 37' 20''
Instrumento: T100 n74890					
Início: 13h51min		Término: 15h23min		Temperatura:	
20°C		Umidade: 58%		Data: 01/09/06	

FIGURA 4.1 – Trecho de caderneta do Método da Barra
FONTE: a autora (2008)

4.1.1 Análise dos Dados para o Método da Barra

O objetivo deste método é detectar se existe algum erro nas leituras das direções horizontais, seja por questões de fabricação, montagem do equipamento ou em função do uso contínuo. Para isso, o conjunto de dados foi processado por uma rotina desenvolvida no programa MatLab, que realizou um ajustamento por Mínimos Quadrados, conforme descrito no item 2.8. Aos resultados dos ajustamentos foram aplicados os Testes Global e Data Snooping, para a avaliação dos pesos observacionais do ajustamento e para a detecção de erros grosseiros nas observações. A figura 4.2 apresenta a planilha de dados observados para o equipamento BD-3 World número 1.

No conteúdo da planilha inicialmente descreve-se horário de início e fim do teste, bem como a temperatura e umidade do laboratório no momento das observações. No corpo da planilha são anotados os valores das leituras angulares realizadas durante o teste. Esta tabela é dividida em 6 partes, sendo que cada uma delas representa as leituras de uma roseta composta de 15 leituras. A primeira coluna refere-se as leituras realizadas com o equipamento sendo orientado no índice de zero de 0° . A segunda coluna as anotação do segundo grupo, ou seja, as observações feitas com o índice de zero de 5° , que é responsável pelo incremento de 5° nas leituras iniciais. Já o terceiro grupo anota as observações realizadas com o aparelho sendo zerado com pontaria no índice de zero igual a 10° . Ao final da tabela foram anotadas 90 observações.

Equipamento: **T105 n1**

Data:21/09/06

Início:14:10 h

Temperatura:20,6°C

Umidade:55%

Término:15:41 h

OBSERVAÇÃO PD (0 A 180)

1 ROSETA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
0	0	0	0	5	4	54	12	10	9	47	53
15	14	49	40	20	19	43	36	25	24	37	35
30	29	50	4	35	34	44	5	40	39	37	55
45	45	1	51	50	49	55	55	55	54	49	48
60	60	21	38	65	65	15	45	70	70	9	33

2 ROSETA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
60	60	0	0	65	64	54	5	70	69	48	2
75	74	49	39	80	79	43	42	85	84	37	41
90	89	50	2	95	94	44	5	100	99	38	3
105	105	1	51	110	109	55	54	115	114	49	54
120	120	21	37	125	125	15	40	130	130	9	40

3 ROSETA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
120	120	0	0	125	124	54	1	130	129	48	0
135	134	49	39	140	139	43	42	145	144	37	42
150	149	50	1	155	154	44	5	160	159	38	2
165	165	1	53	170	169	55	52	175	174	49	51
180	180	21	37	185	185	15	41	190	190	9	36

OBSERVAÇÃO (180 A 360)

1 ROSETA OPOSTA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
180	180	0	0	185	184	54	0	190	189	48	3
195	194	49	37	200	199	43	42	205	204	37	39
210	209	50	2	215	214	44	3	220	219	38	4
225	225	1	50	230	229	55	51	235	234	49	54
240	240	21	35	245	245	15	40	250	250	9	40

2 ROSETA OPOSTA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
240	240	0	0	245	244	54	7	250	249	48	3
255	254	49	41	260	259	43	48	265	264	37	48
270	269	50	1	275	274	44	9	280	279	38	6
285	285	1	54	290	289	56	2	295	294	49	53
300	300	21	38	305	305	15	45	310	310	9	41

3 ROSETA OPOSTA

Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg	Direção	Grau	Min	Seg
300	300	0	0	305	304	54	3	310	309	48	2
315	314	49	44	320	319	43	46	325	324	37	38
330	329	50	3	335	334	44	10	340	339	38	2

345	345	1	56	350	349	56	0	355	354	49	52
360	360	21	43	5	365	15	41	10	370	9	38

FIGURA 4.2 - Exemplo de uma planilha de dados de observação.

FONTE: a autora (2008)

Aos dados demonstrados na figura 4.2, foi aplicado um ajustamento com os resultados para a primeira roseta, apresentados na figura 4.3. Esta tabela apresenta os resultados do ajustamento aplicado as observações. A primeira coluna refere-se aos parâmetros utilizados no ajustamento, que são compostos pelas direções angulares medidas (x2, x3, x4 e x5) e valores angulares observados na barra (z1, z2, z3, z4, z5 e z6). A segunda coluna refere-se aos valores dos parâmetros ajustados (X_a). A terceira coluna indica os parâmetros observados, divididos em séries, por exemplo, de L1/s1 a L5 são os parâmetros observados nos alvos que materializam os ângulos aproximados de 0°, 15°, 30°, 45° e 60° na primeira série, e assim sucessivamente até L30 que representa a última leitura da sexta série. A quarta coluna indica os resíduos (V) obtidos no ajustamento, no total são 30 valores referentes as 30 observações. A quinta coluna refere-se aos valores das observações ajustadas (L_a).

Na parte inferior da tabela encontram-se os valores referentes ao Teste Global que verifica através das hipóteses nula ou alternativa a presença de erros grosseiros ou ainda a utilização errônea de pesos observacionais, conforme apresentado no item 2.9.1.

Neste trabalho foi utilizado um nível de significância, ou seja, intervalo de confiança de 95% para o ajustamento das observações. Este valor foi adotado, baseado na indicação da literatura na área de Geodésia. Para a compatibilização dos resultados, o mesmo intervalo de confiança foi adotado para as análises estatísticas. Dessa forma, adotou-se $\alpha = 95\%$, cujo valor tabelado para χ^2 para o limite inferior e superior do intervalo de confiança é de 7,43 e 40,00, respectivamente. A análise do Teste Global é feita de acordo com os parâmetros demonstrados no item 2.9.1.

Ajustamento BD3 world 1						
Pa r	Par aj Xa	L	Resíduos V	Obs aj La	Si2 Var Post	Ki2
x2	14,6583	L1/s1	-0,0072	-0,0072	0,9917	19,8349
x3	29,4667	L2	-0,6989	14,6511		
x4	44,4611	L3	-1,0739	29,4594		
x5	59,6333	L4	-1,0961	44,4539		
z1	-0,0072	L5	-0,7572	59,6261		
z2	59,9894	L6/S2	-0,0106	-0,0106		
z3	120,0028	L7	-0,7022	14,6478		
z4	180,0161	L8	-1,0939	29,4561		
z5	239,9961	L9	-1,0994	44,4506		
z6	300,0028	L10	-0,7606	59,6228		
		L11/S3	0,0028	0,0028		
		L12	-0,6722	14,6611		
		L13	-1,0639	29,4694		
		L14	-1,0694	44,4639		
		L15	-0,7306	59,6361		
		L16/S4	0,0161	0,0161		
		L17	-0,6589	14,6744		
		L18	-1,0339	29,4828		
		L19	-1,0394	44,4772		
		L20	-0,6839	59,6494		
		L21/S5	-0,0039	-0,0039		
		L22	-0,6956	14,6544		
		L23	-1,0706	29,4628		
		L24	-1,0928	44,4572		
		L25	-0,7372	59,6294		
		L26/S6	0,0028	0,0028		
		L27	-0,6722	14,6611		
		L28	-1,0639	29,4694		
		L29	-1,0694	44,4639		
		L30	-0,7306	59,6361		
Teste Global						
alfa		Qui² v, α/2		Qui2 calculado		Qui² v, 1-α/2
95%		7,43		19,8349		40,00

FIGURA 4.3 – Exemplo de resultados do ajustamento 1ª Roseta BD-3 World nº1

FONTE: a autora (2008)

Os resultados obtidos para a primeira roseta observada, geraram um fator da variância da unidade de peso a posteriori estimado $\hat{\sigma}_0^2$, compatível com o fator da

variância da unidade de peso a priori escolhido σ_0^2 . Esta conclusão é obtida pela análise das hipóteses básica (H_0) e alternativa (H_1), formuladas e demonstradas no item 2.9.1. Neste caso a hipótese nula foi aceita, pois o valor calculado para Qui-quadrado (χ^2) foi de 19,8349, ficando dentro do limite de aceitação para a hipótese nula ao nível de significância de 95%, que varia de 7,43 a 40,00. Dessa forma, conclui-se que o peso observacional aplicado foi adequado e não houve a presença de erros grosseiros relevantes no escopo dos dados.

Os resultados obtidos para a segunda e terceira rosetas, produziram um valor calculado para (χ^2), de 31,6087 e 35,1377 respectivamente. Desta forma, os valores encontram-se dentro do limite aceitável para que a hipótese básica (H_0), seja aceita em nos casos apresentados acima.

Na seqüência, foi aplicado o teste Data Snooping para verificação individual em relação a erros grosseiros. Para isso, avaliou-se a Matriz de Redundância obtida em função do fator da variância da unidade de peso a posteriori, da matriz variância-covariância dos resíduos e da matriz dos pesos. Essa matriz fornece valores individuais de redundâncias parciais (r_i). Para os conjuntos de dados da primeira, segunda e terceira rosetas do equipamento BD3 World, as redundâncias parciais obtiveram um valor de 0,6667 para as 30 observações de cada série. De acordo com a tabela 2.2 apresentada no item 2.9.2, essas observações apresentam boa controlabilidade. Este resultado habilita o conjunto de dados a próxima etapa de análise, o cálculo do resíduo padronizado individual (w_i). Os resultados indicam que o peso observacional foi adequado no ajustamento. A figura 4.4 demonstra um exemplo do teste Data Snooping na análise do resíduo padronizado individual.

BD3 world 1 0				
L	Resíduos V	Des.Pad Vi	wi	Análise wi >1,96
L1/s1	-0,0072	0,009532051	0,0089	sem erro
L2	-0,6989	0,017852918	0,8631	sem erro
L3	-1,0739	0,019485422	1,3262	sem erro
L4	-1,0961	0,022987453	1,3536	sem erro
L5	-0,7572	0,027519575	0,9351	sem erro
L6/S2	-0,0106	0,009532051	0,0130	sem erro
L7	-0,7022	0,017852918	0,8672	sem erro
L8	-1,0939	0,019485422	1,3509	sem erro
L9	-1,0994	0,022987453	1,3577	sem erro
L10	-0,7606	0,027519575	0,9392	sem erro
L11/S3	0,0028	0,009532051	-0,0034	sem erro
L12	-0,6722	0,017852918	0,8301	sem erro
L13	-1,0639	0,019485422	1,3138	sem erro
L14	-1,0694	0,022987453	1,3207	sem erro
L15	-0,7306	0,027519575	0,9022	sem erro
L16/S4	0,0161	0,009532051	-0,0199	sem erro
L17	-0,6589	0,017852918	0,8137	sem erro
L18	-1,0339	0,019485422	1,2768	sem erro
L19	-1,0394	0,022987453	1,2837	sem erro
L20	-0,6839	0,027519575	0,8446	sem erro
L21/S5	-0,0039	0,009532051	0,0048	sem erro
L22	-0,6956	0,017852918	0,8590	sem erro
L23	-1,0706	0,019485422	1,3221	sem erro
L24	-1,0928	0,022987453	1,3495	sem erro
L25	-0,7372	0,027519575	0,9104	sem erro
L26/S6	0,0028	0,009532051	-0,0034	sem erro
L27	-0,6722	0,017852918	0,8301	sem erro
L28	-1,0639	0,019485422	1,3138	sem erro
L29	-1,0694	0,022987453	1,3207	sem erro
L30	-0,7306	0,027519575	0,9022	sem erro

FIGURA 4.4 – Exemplo de planilha com resultados para teste Data Snooping
1ª roseta BD-3WORLD N°1

FONTE: a autora (2008)

De acordo com KUANG (1996, p. 132), caso o valor obtido para w_i seja superior ao limite indicado pelo parâmetro de não-centralidade a hipótese nula é

rejeitada e neste caso entende-se que foi identificado um erro grosseiro nesta observação, sendo a observação indicada no quadro 4.4 como sendo “com erro”.

Os valores obtidos para o parâmetro de resíduo padronizado individual para a primeira roseta apresentaram-se como o esperado, sem erro grosseiro. O valor individual (w_i) foi comparado com o valor do parâmetro de não-centralidade (1,96), que é definido em função do nível de significância (95%) considerado e do poder do teste, conforme valores tabelados. Em todas as comparações individuais, o valor de w_i foi inferior a 1,96, comprovando que não houve erro grosseiro presente na observação. O mesmo procedimento foi aplicado a segunda e terceira roseta, sendo o resultado bem sucedido.

Todas as análises e quadros referentes das demais rosetas e dos demais equipamentos encontram-se no anexo 2. Na sequência é apresentado o quadro 4.1 com o resumo dos resultados obtidos para os demais equipamentos.

Equipamento	Roseta	χ^2	r_i	Teste Global	Data Snooping
BD3 nº 1	1ª roseta	19,8349	0,6667	Ok	Sem erro
	2ª roseta	31,6087	0,6667	Ok	Sem erro
	3ª roseta	35,1377	0,6667	Ok	Sem erro
BD3 nº 3	1ª roseta	18,8104	0,6667	Ok	Sem erro
	2ª roseta	29,2847	0,6667	Ok	Sem erro
	3ª roseta	31,0692	0,6667	Ok	Sem erro
T100 748	1ª roseta	9,1090	0,6667	Ok	Com erro
	2ª roseta	13,2781	0,6667	Ok	Sem erro
	3ª roseta	23,8675	0,6667	Ok	Sem erro
T100 748 15	1ª roseta	7,7969	0,6667	Ok	Com erro
	2ª roseta	12,1736	0,6667	Ok	Sem erro
	3ª roseta	22,4690	0,6667	Ok	Sem erro
T105 nº 1	1ª roseta	4,5172	0,6667	Não passou	Com erro
	2ª roseta	5,4418	0,6667	Não passou	Com erro
	3ª roseta	8,8018	0,6667	Ok	Sem erro
T105 nº 4	1ª roseta	8,8700	0,6667	Ok	Com erro
	2ª roseta	13,7950	0,6667	Ok	Sem erro
	3ª roseta	25,0870	0,6667	Ok	Sem erro

QUADRO 4.1 – Resumo dos resultados alcançados para todos os equipamentos

FONTE: a autora (2008)

Analisando os valores apresentados no quadro 4.5, se pode observar que o teodolito eletrônico T100 nº748 apresentou erros grosseiros na primeira roseta. A justificativa para tal ocorrência, foi a deficiência de iluminação sobre o alvo de 60°, dificultando as observações. Para o teodolito eletrônico T105 nº 1, os resultados foram insatisfatórios. Isto foi ocasionado por um problema físico do teodolito, cujo parafuso de ajuste do movimento horizontal, apresentou problemas durante o teste, sendo encaminhado para a manutenção. Os problemas foram verificados após a aplicação do teste Data Snooping que acusou erro grosseiro nas observações. Isso proporcionou uma análise criteriosa das observações advindas deste aparelho e então foi detectado o problema.

De forma geral, percebe-se que os valores obtidos para o teste de χ^2 nas primeiras rosetas é sempre inferior as duas seguintes. Apesar disso, observa-se na prática que a partir do final da primeira roseta o observador atinge melhor acuidade na observação, mas curiosamente os valores de χ^2 apresentam-se superiores. A justificativa para tal, pode ser a dificuldade na realização de pontaria nos índices de zero de 5° e 10°. Isto porque, estes alvos estão posicionados nas extremidades da barra e a incidência de luz pode provocar duplicidade na imagem do traço central do alvo. Quaisquer variações na pontaria acarretam acúmulos de resíduos nas demais leituras. Isto comprova a afirmação inicial de que as observações pertencentes à mesma roseta são correlacionadas, porém uma roseta é independente da outra. A seguir são apresentados os gráficos desenvolvidos a partir dos valores resultantes do ajustamento e dos testes estatísticos.

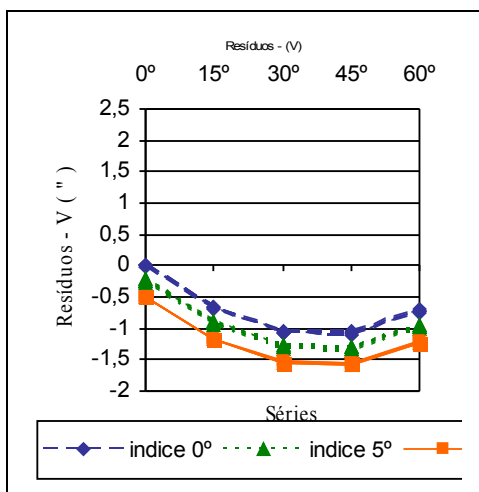


FIGURA 4.5 – Resíduos ajustamento (V) teodolito BD3 WORLD N° 1

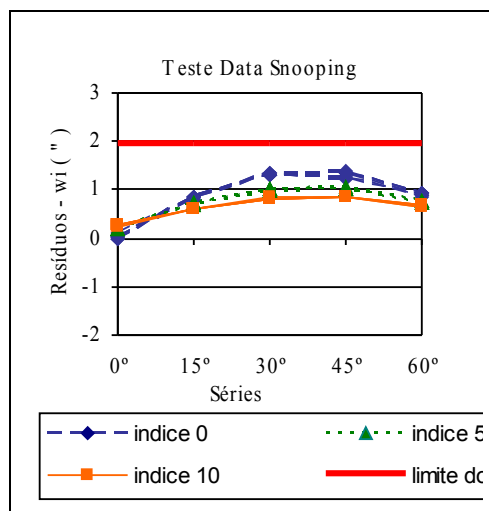


FIGURA 4.6 – Resíduos padronizados (wi) teodolito BD3 WORLD N° 1

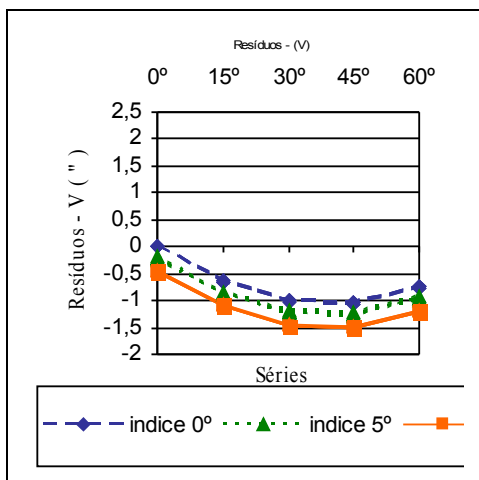


FIGURA 4.7 – Resíduos do ajustamento (V) teodolito BD3 WORLD N° 3

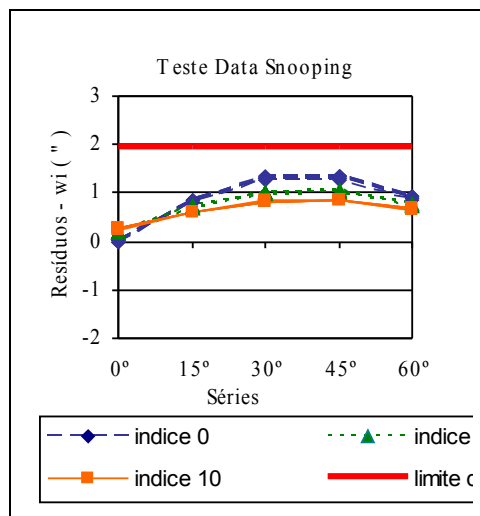


FIGURA 4.8 – Resíduos padronizados (wi) teodolito BD3 WORLD N° 3

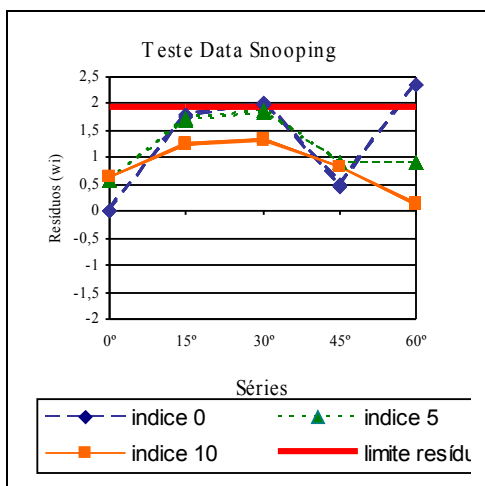


FIGURA 4.9 – Resíduos ajustamento (V) teodolito T100 N 74890 15

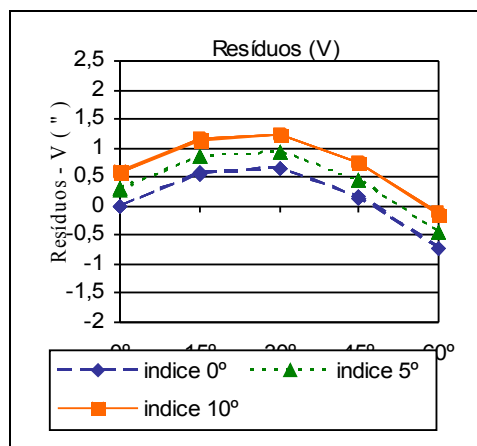


FIGURA 4.10 – Resíduos padronizados (wi) teodolito T100 N 74890 15

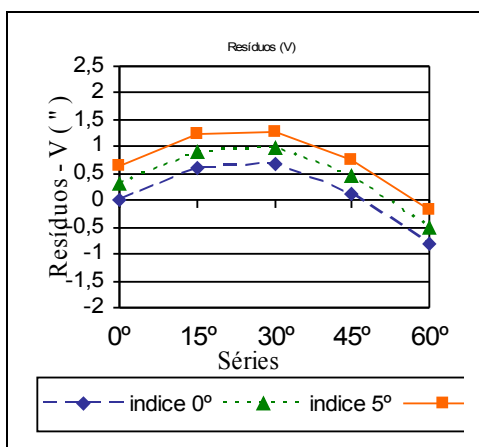


FIGURA 4.11 – Resíduos ajustamento (V) teodolito T105 N4

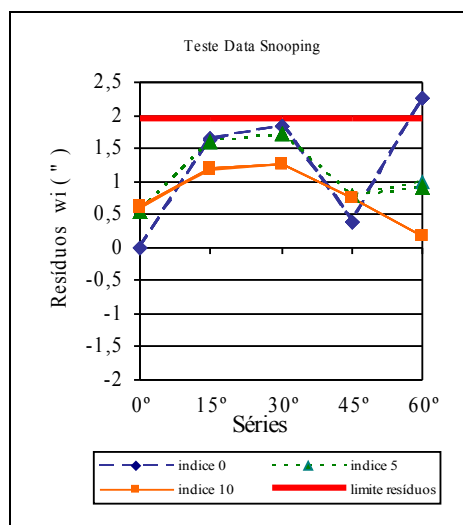


FIGURA 4.12 – Resíduos padronizados (wi) teodolito T105 N4

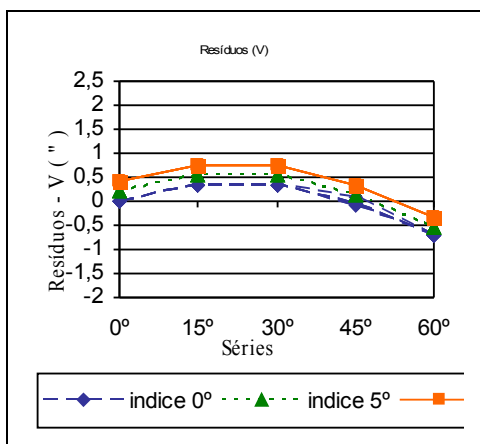


FIGURA 4.13 – Resíduos Ajustamento (V)
teodolito T105 N1

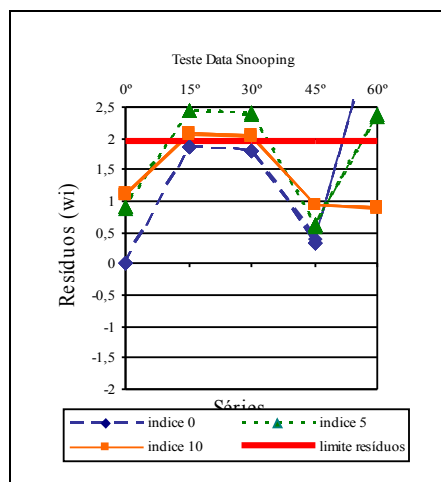


FIGURA 4.14 – Resíduos padronizados (wi)
teodolito T105 N 1

Os gráficos de resíduos do ajustamento apresentam similaridade de representação das curvas resultantes das avaliações dos pares de equipamentos. Os teodolitos BD3 World, apresentam um comportamento semelhante entre si, porém, em relação aos demais é diferenciado. A curva que representa seus resíduos do ajustamento é contrária em relação aos outros equipamentos testados. Isso pode ser justificado pela construção mecânica dos equipamentos. Apesar do sentido da curva ser inverso à dos demais equipamentos, nota-se que os valores obtidos nos testes, são compatíveis.

As figuras 4.5, 4.7, 4.9, 4.11 e 4.13 representam os resíduos (V) dos ajustamentos. Pode-se observar que para todas as séries as observações mantêm o mesmo padrão, pois as curvas são equidistantes. Baseado nos valores de resíduos, a princípio não há nestes casos, nenhuma região que mereça maior análise ou uma investigação mais criteriosa.

Ressalta-se o comportamento do início das curvas das rosetas. Caso não houvesse erros residuais, todas as curvas iniciariam no ponto zero. De acordo com o que foi avaliado anteriormente, sobre o teste χ^2 , parece adequado o aparecimento de resíduos nos gráficos, comprovando que apesar dos erros iniciais existirem, durante o

desenvolvimento da roseta não há discrepância dos valores observados. Esta avaliação comprova que no teste χ^2 os erros observacionais são absorvidos e distribuídos em todas as observações, não sendo possível a detecção de erros sem o teste Data Snooping.

A análise dos resíduos padronizados (w_i) apresentados nas figuras 4.6, 4.8, 4.10, 4.12 e 4.14, indicam a presença de erros grosseiros pontuais. Cabe ressaltar que o valor limite para os resíduos padronizados (w_i), estabelecido a partir do parâmetro tabelado de 1,96, é representado no gráfico como uma linha paralela (vermelha) ao eixo das séries (x).

A característica do teste é analisar pontualmente uma observação. Nos casos dos teodolitos mecânicos BD-3World, não foram detectados erros em nenhuma das observações. Para o teodolito eletrônico T100, o teste indica a presença de um erro grosseiro em todas as observações realizada na primeira roseta para o alvo de 60°. Neste caso, observou-se no laboratório uma deficiência de iluminação sobre o mesmo. Nas pontarias eram percebidas sombras e consequentemente as observações foram obtidas erroneamente. Para o caso do alvo de 45° ocorreu duplicidade na imagem do traço devido a iluminação. A precisão e a alta sensibilidade do equipamento provocaram tal situação, pois uma pequena imprecisão é correlacionada a magnitude dos resíduos.

O teodolito eletrônico T105 N°1, como já mencionado estava avariado e seus problemas mecânicos foram percebidos nos dados e no gráfico que representava os resíduos padronizados. Cabe ressaltar que o tipo de avaria do equipamento não foi detectado no ajustamento. Isto é justificado porque como a avaria agia como um erro aleatório, ou seja, ora ocorria e ora não, os erros eram distribuídos e as falhas eram compensadas no decorrer do ajustamento. A avaria só foi detectada na análise dos resíduos padronizados, que atua diretamente em cada observação. Avaliando o gráfico

observa-se que houve ocorrência de erro em todas as séries de observação deste aparelho. Em virtude desta constatação o equipamento foi enviado para manutenção.

Para o teodolito eletrônico T105 N°4, a situação crítica encontra-se na primeira série para o de alvo 60°. Neste caso o valor para o resíduo padronizado extrapolou o valor considerado limite de 1,96 (parâmetro de não-centralidade), propiciando a detecção de um erro observacional naquele alvo. A justificativa para tal comportamento foi a deficiência na iluminação incidente sobre esse alvo.

Nesses testes não foram encontrados erros nas leituras das direções horizontais. Esta constatação é possível, pois avaliando os gráficos de resíduos do ajustamento (gráficos 4.5, 4.7, 4.9, 4.11 e 4.13) e dos resíduos padronizados (gráficos 4.6, 4.8, 4.10, 4.12 e 4.14) não houve a presença de uma leitura fora da curva apresentada. Isto comprova que na maioria das vezes o erro apresentado encontrava-se no alvo e não no limbo.

4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS PARA METODOLOGIA DE CLASSIFICAÇÃO DAS COMPONENTES ANGULARES (HORIZONTAL E VERTICAL) DE TEODOLITOS E ESTAÇÕES TOTAIS EM LABORATÓRIO

4.2.1 Análise da Influência de Diferentes Iluminações nas Observações Realizadas para Construção de um Colimador

Para este teste foi utilizado o teodolito eletrônico T105 marca Leica e os colimadores com iluminação de lâmpada incandescente e colimador com iluminação com lâmpada dicróica.

De acordo com BLACHUT et al (1979, p. 100) o limite do poder de resolução do sistema óptico em uma pontaria, tem uma acurácia máxima igual a $10''/M$ onde M é

a ampliação da luneta do instrumento utilizado. Para o caso do teodolito eletrônico T105, a luneta possui ampliação de 30 vezes. Dessa forma tem-se que a máxima acurácia desse instrumento é de $0,33''$. Então, fez-se necessária a comparação de testes para certificar se existe diferença na acurácia das pontarias de colimação, e no caso positivo de quanto seria a discrepância. A acurácia neste caso está diretamente ligada a focalização. Quando ocorre imagem turva não se pode garantir a real posição dos fios colimadores, neste caso pode ocorrer um erro de segundos, o que comprometeria os resultados dos testes.

Para obter-se numericamente a diferença de focalização no sistema colimador, utilizando duas iluminações diferentes, procedeu-se o seguinte teste: instalou-se o equipamento no pilar central, e fez-se a pontaria no colimador com iluminação incandescente colocado na posição 90° e obteve-se a leitura de $90^\circ 00' 14''$. Substituiu-se a iluminação do colimador pela iluminação dicróica, tomando-se os cuidados para preservar a posição original do colimador. A diferença de intensidade na iluminação forçou um ajuste na focalização do equipamento em teste e o resultado da leitura foi $90^\circ 00' 03''$. A troca de iluminação, ou seja, a diferença na intensidade na iluminação provocou um “erro” de $11''$. Considerando que a precisão nominal do teodolito utilizado é de $5''$, este valor equivale a um erro causado pela focalização duas vezes superior a sua precisão.

Para tentar caracterizar o erro de focalização e avaliar sua influência na classificação de um equipamento procedeu-se um novo teste. Foram realizadas 3 séries de observações completas para cada tipo de iluminação, utilizando um teodolito eletrônico T105. Os quadros 4.2, 4.3 e 4.4 apresentam os resultados obtidos para o colimador com iluminação dicróica, colimador com iluminação incandescente e iluminação por *LED*, respectivamente. Os parâmetros apresentados são: média das 3 séries de observação, desvio-padrão de cada ângulo observado, desvio-padrão para

cada direção observada, e desvio-padrão amostral de acordo com a NBR 13.133 para o conjunto das observações.

Para o cálculo do desvio-padrão amostral foram feitas as seguintes considerações, sendo dada a figura 4.15:

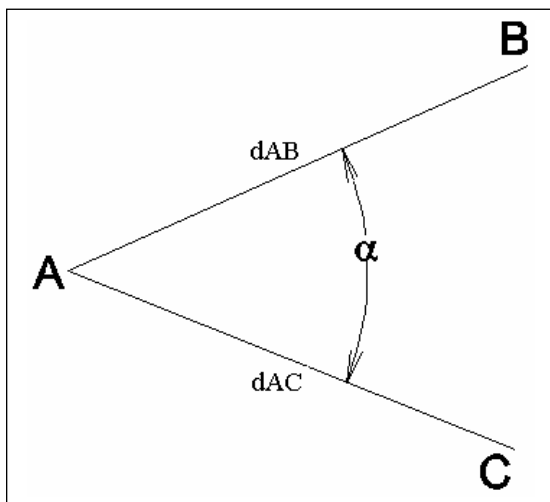


FIGURA 4.15 – Exemplo de ângulo e direção medida

FONTE: a autora (2008)

$$\alpha = dAC - dAB \quad (35)$$

$$\sigma_{\alpha}^2 = \left(\frac{\partial F}{\partial dAC} \cdot \sigma_{dAC} \right)^2 + \left(\frac{\partial F}{\partial dAB} \cdot \sigma_{dAB} \right)^2 \quad (36)$$

$$\sigma_{\alpha}^2 = \sigma_{dAC}^2 + \sigma_{dAB}^2 \quad (37)$$

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\sigma_{dAC}^2 + \sigma_{dAB}^2} \quad (38)$$

Considerando o desenvolvimento acima, o desvio-padrão para cada ângulo observado foi calculado em função do desvio-padrão das duas direções envolvidas, como apresentado no exemplo abaixo:

$$\sigma_{\alpha=90^{\circ}} = \sqrt{(\sigma_{\text{direção } 0^{\circ}})^2 + (\sigma_{\text{direção } 90^{\circ}})^2} \quad (39)$$

O desvio-padrão de cada direção observada foi calculado da seguinte forma: calcula-se a variância da direção e extrai-se a raiz quadrada positiva.

E finalmente o desvio-padrão de acordo com a NBR 13.133 foi calculado através da planilha no programa Excel, apresentado anteriormente.

Alvos	Média 3 séries	$\sigma_{\text{direção}}$	$\sigma_{\text{ângulo}}$	$\sigma_{\text{NBR 13133}}$
0°	359° 59' 37,3"	6,18"		6,38"
50°	50° 00' 47,2"	9,08"	10,98"	
90°	89° 59' 47,2"	3,92"	7,32"	
160°	159° 59' 39,3"	1,54"	6,37"	
270°	269° 59' 51,2"	2,49"	6,66"	

QUADRO 4.2 – Resultados para observação com colimador com iluminação dicróica
FONTE: a autora (2008)

Alvos	Média 3 séries	$\sigma_{\text{direção}}$	$\sigma_{\text{ângulo}}$	$\sigma_{\text{NBR 13133}}$
0°	0° 00' 02,0"	4,10"		8,74"
50°	50° 01' 03,2"	2,05"	4,58"	
90°	90° 00' 17,2"	1,78"	4,47"	
160°	160° 00' 24,0"	13,25"	13,87"	
270°	270° 00' 05,2"	1,43"	4,34"	

QUADRO 4.3 – Resultados para observação com colimador com iluminação incandescente
FONTE: a autora (2008)

Alvos	Média 3 séries	$\sigma_{\text{direção}}$	$\sigma_{\text{ângulo}}$	$\sigma_{\text{NBR 13133}}$
0°	0° 00' 01,0"	3,50"		4,57"
50°	50° 00' 45,5"	1,15"	3,68"	
90°	90° 00' 02,8"	1,25"	3,71"	
160°	160° 00' 11,2"	2,34"	4,21"	
270°	269° 59' 57,6"	1,05"	3,65"	

QUADRO 4.4 – Resultados para observação com colimador com iluminação por LED
FONTE: a autora (2008)

De acordo com os dados apresentados constatou-se que as observações com *LED* obtiveram melhores resultados com relação a classificação do equipamento, sendo o desvio-padrão de 4,57" de acordo com os procedimentos de cálculo da NBR 13.133 e classificando o equipamento como de média precisão. Para a iluminação com filamentos o desvio-padrão do mesmo instrumento, cuja a precisão nominal é de 5", subiu para 8,74" passando para classificação de baixa precisão e a dicróica para 6,38" (média precisão). Como demonstrado no teste anterior diferentes iluminações ocasionaram erros de focalização. Como a iluminação com filamentos apresenta menor intensidade, pode proporcionar dificuldade na focalização em alguns colimadores, principalmente os que apresentam fungos ou posicionados mais distantes do pilar central. A presença de fungos nas lentes é favorecida pela utilização do bálsamo do Canadá na montagem das lentes. Este bálsamo é elaborado a partir de uma resina de pinheiros e utilizado para colagem das lentes objetivas.

Com este teste, comprovou-se a necessidade de utilização de uma luz intensa que supere a dificuldade de focalização nos equipamentos. Esta é uma questão importante, pois pode-se incluir erros nas observações em função da focalização, logo a iluminação torna-se um fator decisivo.

4.2.2 Comparação de Resultados entre as Bases de Classificação Horizontal de Campo e Laboratório

Estes testes foram realizados com o objetivo de comparar os resultados da base de campo com os resultados do laboratório, para validar a proposta da pesquisa. Para este teste foi utilizado a estação total TC 403 L, marca Leica, com precisão de 10". A descrição dos trabalhos de campo e laboratório encontra-se no item 3.2.6.

Em campo foram realizados 2 testes. Para a independência entre as duas classificações, ao final da primeira classificação retirou-se o equipamento do pilar de

centragem e instalou-se novamente para a segunda classificação. Nestes casos foram realizadas 4 séries completas. A quadro 4.5 apresenta os valores obtidos nos dois testes.

Teste	$\sigma_{\text{NBR 13.133}}$
Classificação 1	4,77"
Classificação 2	4,81"

QUADRO 4.5 – Resultados da classificação horizontal da base de campo TC 403 – dia 10/03/06
FONTE: a autora (2008)

Em laboratório foram realizadas 2 classificações com 4 séries de observações completas cada, o quadro 4.6 apresenta os resultados obtidos.

Teste	$\sigma_{\text{NBR 13.133}}$
Classificação 1	4,22"
Classificação 2	4,62"

QUADRO 4.6 – Resultados da classificação horizontal da base de laboratório TC 403 – dia 18/04/06
FONTE: a autora (2008)

De acordo com resultados obtidos, observa-se que os dados da base de laboratório apresentaram-se compatíveis com os dados produzidos na base de campo. Considerando-se a precisão do instrumento de 10", o desvio-padrão obtido em laboratório foi de 4,22" na primeira classificação e 4,62" na segunda, sendo os obtidos na base de campo foram 4,77" e 4,81", respectivamente.

Tomando por base estes resultados, pôde-se considerar que a base de laboratório proposta apresentou bons resultados, lembrando que isso foi possível depois de resolver problemas de focalização dos retículos, através da implantação da iluminação com *LED*.

A base interna na qual foram realizados os testes contava com 4 colimadores, pois para este teste teve-se a preocupação de manter uma compatibilidade entre o número de observações em campo com as do laboratório. Dessa forma, dúvidas de que

o aumento de um conjunto de observações no laboratório, ou seja, maior número de observações pudesse interferir no resultado final foram excluídas.

Todos os testes contaram com o mesmo número de observações, sendo que o desgaste do operador no laboratório é inferior ao teste de campo. A praticidade de deslocamento do equipamento, o fato do operador permanecer sentado durante toda a tomada de observações, a climatização do ambiente e a inexistência de vento, insetos, insolação, transformam o ambiente de laboratório estável e confortável. A esses fatores podem ser acrescentados como vantagens do laboratório: a rapidez de execução dos testes, pequeno número de pessoas envolvidas e custo de manutenção da base.

Tendo como referência os ensaios acima demonstrados, partiu-se para a elaboração da base interna para classificação de teodolitos e estações totais, baseada na ISO17123-3.

As planilhas referentes a esses testes, encontram-se no anexo 3 e 4 deste trabalho.

4.2.3 Análise da Classificação Angular Horizontal Utilizando Colimadores Construídos no Laboratório Baseada na ISO17123-3

A princípio a base horizontal foi testada como apresentado no item 4.2.2, para confirmar sua eficiência comparando-a com a base de campo. Considerados os efeitos da iluminação, número de observações e adequação da metodologia ao laboratório, partiu-se para a implantação da base sugerida na ISO17123-3. Esta base conta com 5 colimadores com iluminação *LED*, aplicação de filtro azul e fixados sobre a bancada horizontal da base, conforme descrito nos itens 3.2.2 e 3.2.3.

Para garantir a adequação da base de laboratório, realizaram-se na base de campo testes com os mesmos equipamentos que seriam levados a laboratório.

Na base de campo de acordo com a NBR 13.133 foram realizados 4 testes com os seguintes equipamentos: 2 teodolitos eletrônicos T105, 1 teodolito eletrônico T100 e uma estação total TC403L.

Os dados de campo foram anotados em uma planilha e depois em laboratório inseridos na planilha Excel, para cálculo da precisão e posterior classificação do equipamento. A seguir no quadro 4.7 são apresentados os valores de precisão e classificação horizontal de cada equipamento.

Equipamento	Precisão nominal	Precisão na base de campo	Classificação
Teodolito 105 n5	5"	4,97"	Média
Teodolito 105 n4	5"	3,28"	Média
Teodolito T100 726236	10"	6,24"	Média
Estação Total TC403L	10"	3,25"	Média

QUADRO 4.7 - Resultados da classificação horizontal da base de campo
FONTE: a autora (2008)

Em laboratório foram realizados testes com os mesmos equipamentos levados a base de campo. No quadro 4.8 são apresentados os resultados obtidos.

Equipamento	Precisão nominal	Precisão nos testes de laboratório	Classificação
Teodolito 105 n5	5"	4,04"	Média
Teodolito 105 n4	5"	3,01"	Média
Teodolito T100 726236	10"	4,51"	Média
Estação Total TC403L	10"	4,15"	Média

QUADRO 4.8 – Resultados da classificação horizontal da base de laboratório
FONTE: a autora (2008)

Na comparação dos resultados verifica-se que para todos os equipamentos testados existiu compatibilidade dos valores de precisão e a mesma classificação obtida

no teste de campo repetiu-se no laboratório. Com estes resultados é possível indicar o êxito na implantação do laboratório. A base de campo já conceituada e indicada para este tipo de classificação foi utilizada como parâmetro de comparação e validação do laboratório.

Para maior certificação dos resultados, os valores obtidos na base de laboratório são submetidos à avaliação dos parâmetros estatísticos. O primeiro teste estatístico analisa o desvio-padrão experimental (σ_{exp}) obtido em função do desvio-padrão fornecido pelo fabricante (σ_{fab}). Neste caso a hipótese nula do teste é aceita caso o desvio-padrão calculado seja menor ou igual ao fornecido pelo fabricante. O segundo teste avalia a compatibilidade das amostras (observações). Para esta situação a hipótese nula é aceita caso o desvio-padrão calculado na classificação e o menor desvio-padrão obtido entre as séries de observações pertencem a mesma população. O quadro 4.9 mostra os resultados destes testes.

Equipamento	Precisão no teste de laboratório	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)
Teodolito 105 n5	4,04"	Aceita	Aceita
Teodolito 105 n4	3,01"	Aceita	Aceita
Teodolito T100 726236	4,51"	Aceita	Aceita
Estação Total TC403L	4,15"	Aceita	Aceita

QUADRO 4.9 - Resultados dos testes estatísticos da classificação horizontal da base de laboratório
FONTE: a autora (2008)

Os testes estatísticos comprovam a adequação das observações e a confiabilidade do resultado. Ambas as questões acerca do desvio-padrão calculado foram aceitas. As planilhas das classificações e dos testes estatísticos são encontrados no anexo 6.

4.2.4 Avaliação dos Resultados Obtidos na Base de Classificação Angular Vertical no Laboratório

A fundamentação teórica da classificação angular vertical foi explicitada no item 2.11. Baseada nesta fundamentação foi implantado no laboratório uma base de classificação angular vertical de acordo com a norma ISO17123-3. Os procedimentos de instalação da base foram descritos no item 3.2.11.

Considerando os resultados obtidos na classificação horizontal em laboratório, consideraram-se os mesmos parâmetros para a classificação vertical. Embora não haja nenhuma normativa brasileira que contemple a questão angular vertical, optou-se por classificar os equipamentos testados na base vertical com a mesma classificação sugerida pela NBR 13.133 para a classificação angular horizontal. Desta forma, os testes de classificação foram baseados na ISO17123-3 e a classificação em função do desvio-padrão experimental obtido em função da NBR 13.133.

Foram utilizados nestes testes os seguintes equipamentos: 2 teodolitos eletrônicos T105, 1 teodolito eletrônico T100 e uma estação total TC403L. No quadro 4.10 são apresentados os resultados obtidos.

Equipamento	Precisão nominal	Precisão nos testes de laboratório	Classificação
Teodolito 105 n5	5"	2,92"	Média
Teodolito 105 n4	5"	3,52"	Média
Teodolito T100 726236	10"	4,79"	Média
Estação Total TC403L	10"	4,38"	Média

QUADRO 4.10 – Resultados da classificação angular vertical da base de laboratório
FONTE: a autora (2008)

Observando-se os resultados verifica-se que para todos os equipamentos testados existiu compatibilidade dos valores de precisão nominal (ou informada pelo fabricante) e o valor de precisão obtida no teste. Estes resultados apoiados pelos resultados da classificação horizontal reafirmam o êxito na implantação do laboratório.

A classificação vertical conta com apoio da avaliação dos parâmetros estatísticos. O primeiro teste estatístico analisa o desvio-padrão experimental (σ_{exp}) obtido em função do desvio-padrão fornecido pelo fabricante (σ_{fab}). E finalmente o teste que avalia a existência de erro de índice de zero nas observações. Para o primeiro caso a hipótese nula do teste é aceita caso o desvio-padrão calculado seja menor ou igual ao fornecido pelo fabricante. O segundo teste avalia a compatibilidade das amostras (observações). Para esta situação a hipótese nula é aceita caso o desvio-padrão calculado na classificação e o menor desvio-padrão obtido entre as séries de observação pertencem a mesma população. E para o terceiro teste a hipótese nula é aceita caso o erro de índice vertical obtido seja inferior ao limite do valor tolerado. O quadro 4.11 mostra os resultados destes testes.

Equipamento	Precisão no laboratório	Hipótese nula ($\sigma_{\text{exp}} \leq \sigma_{\text{fab}}$)	Hipótese nula (mesma população)	Hipótese nula (não há erro de índice vertical)
Teodolito 105 n5	2,92"	Aceita	Aceita	Rejeitada
Teodolito 105 n4	3,52"	Aceita	Aceita	Rejeitada
Teodolito T100	4,79"	Aceita	Aceita	Aceita
Est. Total TC403L	4,38"	Aceita	Aceita	Aceita

QUADRO 4.11 - Resultados dos testes estatísticos da classificação vertical base de laboratório
FONTE: a autora (2008)

Os testes estatísticos comprovam a adequação das observações e a confiabilidade do resultado. Ambas as questões acerca do desvio-padrão calculado

foram aceitas. Cabe verificação dos teodolitos eletrônicos T105 números 4 e 5, sobre a questão do erro de índice vertical. As planilhas das classificações e dos testes estatísticos são encontrados no anexo 8.

4.2.5 Avaliação dos Resultados Obtidos com os Colimadores Leica na Base de Classificação Angular Horizontal de Laboratório

Por razões apresentadas no item 3.2.13 a base de classificação angular vertical e horizontal foi construída utilizando 5 colimadores *Leica*, sendo que o arranjo de distribuição é apresentado na figura 3.32.

Os testes foram realizados nos dias 23 e 24/05/2008 e utilizaram-se os seguintes equipamentos: teodolito eletrônico T100, teodolito eletrônico T105 e estação total TC403L. Os testes foram aplicados de forma análoga a apresentada no item 3.2.14.

Nestes testes foram utilizados como acessórios de apoio: planilha eletrônica de classificação angular de acordo com a ISO17123-3, teclado e mouse sem fio. A utilização desses acessórios agilizou todo o processo de registro, processamento e impressão da classificação. Todo este processo reduziu-se ao período de aplicação do teste no laboratório, pois imediatamente após o encerramento das observações era possível a impressão da planilha de classificação e análise estatística. O tempo médio de aplicação de um teste completo foi de aproximadamente 1 h e 50 min.

O teodolito eletrônico T105 N°5 foi submetido a duas classificações, uma no dia 23 e outra no dia 24. Este procedimento foi adotado para verificar a repetibilidade das observações em situações distintas. Os resultados podem auxiliar na formação do conceito sobre a base de classificação, pois o objetivo da base é analisar qualquer equipamento de medição angular, submetendo-o a uma análise criteriosa e idônea sobre suas características de medição angular, avaliando inclusive a ação do operador

sobre o resultado. Os demais equipamentos foram submetidos a uma única avaliação e seus resultados confrontados com os obtidos nos itens 4.2.3 e 4.2.4, pois são os mesmos equipamentos utilizados em todas as baterias de testes.

O item 4.12, mostra os resultados alcançados para a classificação angular horizontal para o teodolito T105 N°5, no primeiro teste (23/05), segundo teste (24/05).

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($dp_exp \leq dp_fab$)	Hipótese nula (mesma população)
T105 n5 (23/05/08)	4,14"	Média	Aceita	Aceita
T105 n5 (24/05/08)	3,33"	Média	Aceita	Aceita

QUADRO 4.12 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação angular horizontal base de laboratório

FONTE: a autora (2008)

Os resultados apresentados estão compatíveis com a precisão nominal do equipamento que é de 5", portanto classificando-o como de média precisão. Houve uma variação inferior a 1" entre um teste e outro. Isto pode ser verificado pela habilidade do operador na realização do teste do dia 24/05. O operador realizou 3 testes completos no dia 23/05, sendo que o primeiro que foi realizado no dia 23/05, foi com o teodolito em questão. Isto significa que após 4 testes completos realizados no dia 23/05, a acuidade visual do observador estava "treinada". Outro fator a ser mencionado é de que o teste com o teodolito T105 N°5, foi o primeiro que foi realizado no dia 24/05, ou seja, o operador estava treinado e descansado para a realização do teste.

O quadro 4.13 compara os resultados do teodolito T105 N°5 obtidos no laboratório com colimador Leica, colimador construído, e base de campo. Pelos dados da tabela pôde-se observar que todos os procedimentos utilizados chegaram a mesma classificação do equipamento, sendo importante ressaltar o desempenho do colimador

construído no laboratório, cujos resultados ficaram muito próximos dos apresentados pela base de campo da UFPR e pelo colimador comercial.

As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 9.

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)
Colimador Leica (23/05)	4,14"	Média	Aceita	Aceita
Colimador Leica (24/05)	3,33"	Média	Aceita	Aceita
Colimador Construído	4,04"	Média	Aceita	Aceita
Base de campo	4,97"	Média	Sem avaliação	Sem avaliação

QUADRO 4.13 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação horizontal da base de laboratório e campo com teodolito T105 N°5

FONTE: a autora (2008)

O quadro 4.14 apresenta comparações para o teodolito T100 N°726, utilizado durante os testes desta pesquisa.

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)
Colimador Leica	7,72"	Média	Aceita	Aceita
Colimador Construído	4,51"	Média	Aceita	Aceita
Base de campo	6,24"	Média	Sem avaliação	Sem avaliação

QUADRO 4.14 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação horizontal da base de laboratório e campo com teodolito T100 N°726

FONTE: a autora (2008)

Na avaliação dos dados do quadro 4.14, observa-se uma diferença de 1,73" entre o desvio-padrão observado na base do laboratório com o colimador construído e o obtido na base de campo. E na comparação entre o colimador comercial e o construído existe uma diferença superior a 3". Tal divergência dos valores deve considerar a precisão nominal de 10" do equipamento. Durante o processamento dos dados as

oscilações para mais ou para menos são consideradas elevando o valor do desvio-padrão obtido. Dessa forma, pode-se aceitar as classificações realizadas na base de campo e no laboratório com colimadores construídos como sendo de mesma classe, ou seja, média precisão. Porém, a classificação resultante da base do laboratório com colimadores Leica, extrapolou o limite aceitável para a classificação de média precisão ($\pm 7''$), colocando-o na classificação de baixa precisão. Considerando a precisão de $10''$ do equipamento, não se pode indicar essa classificação como errônea. Porém, deve-se salientar a qualidade das observações em campo e no laboratório com os colimadores construídos. Outro fator que deve ser considerado é a avaliação dos testes estatísticos, pois todos aceitaram a hipótese nula para a homogeneidade das amostras e para avaliação do desvio-padrão calculado e do fornecido pelo fabricante. As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 9.

O quadro 4.15 apresenta comparações para a estação total TC403L, utilizada durante os testes desta pesquisa.

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)
Colimador Leica	4,70''	Média	Aceita	Aceita
Colimador Construído	4,15''	Média	Aceita	Aceita
Base de campo	3,25''	Média	Sem avaliação	Sem avaliação

QUADRO 4.15 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação horizontal da base de laboratório e campo com estação total TC403L

FONTE: a autora (2008)

Este equipamento (TC403 L) possui precisão nominal de $10''$ e de acordo com sua classificação na NBR13133 pertence a classe de baixa precisão. Em todos os testes realizados obteve classificação de média precisão e os resultados dos testes estatísticos foram satisfatórios.

As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 9.

4.2.6 Avaliação dos Resultados Obtidos com os Colimadores Leica na Base de Classificação Angular Vertical de Laboratório

Por razões apresentadas no item 3.2.14 a base de classificação angular vertical e horizontal foi construída utilizando 5 colimadores, sendo que o arranjo de distribuição é apresentado na figura 3.32.

Os testes foram realizados nos dias 23 e 24/05/2008 e utilizaram-se os seguintes equipamentos: teodolito eletrônico T100, teodolito eletrônico T105 e estação total TC403L. Os testes foram aplicados de forma análoga à apresentada no item 3.2.14.

Nestes testes foram utilizados como acessórios de apoio: planilha eletrônica de classificação angular de acordo com a ISO17123-3, teclado e mouse sem fio. A utilização desses acessórios agilizaram todo o processo de registro, processamento e impressão da classificação. Todo este processo reduziu-se ao período de aplicação do teste no laboratório, pois imediatamente após o encerramento das observações era possível a impressão da planilha de classificação e análise estatística.

O tempo médio de aplicação de um teste completo foi de aproximadamente 1 h e 50 min.

O teodolito eletrônico T105 foi submetido a duas classificações, uma no dia 23 e outra no dia 24. Este procedimento foi adotado para verificar a repetibilidade das observações em situações distintas. Os demais equipamentos foram submetidos a uma única avaliação e seus resultados confrontados com os obtidos no item 4.2.5, pois são os mesmos equipamentos utilizados em todas as baterias de testes.

O quadro 4.16 mostra os resultados alcançados para a classificação angular vertical para o teodolito T105 N°5, no primeiro teste (23/05), segundo teste (24/05).

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)	Hipótese nula (não há erro de índice vertical)
T105 n5 (23/05/08)	4,73"	Média	Aceita	Aceita	Aceita
T105 n5 (24/05/08)	2,37"	Média	Aceita	Aceita	Aceita

QUADRO 4.16 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação vertical da base de laboratório

FONTE: a autora (2008)

Os resultados apresentados no quadro 4.16 estão abaixo da precisão nominal do equipamento que é de 5", portanto classificando-o como de média precisão. Houve a variação de 2" entre um teste e outro. Isto pode ser justificado pela habilidade do operador na realização do teste do dia 24/05. Neste dia o operador estava treinado e descansado para a realização do teste.

O quadro 4.17 compara os resultados do teodolito T105 N°5 obtidos no laboratório com colimador *Leica* nos dias 23 e 24/05 e no colimador construído.

Pelos dados do quadro 4.17 pôde-se observar que todos os procedimentos utilizados chegaram à mesma classificação do equipamento, sendo importante ressaltar o desempenho do colimador construído no laboratório.

As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 10.

Equipament o	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)	Hipótese nula (não há erro de índice vertical)
Colimador Leica (23/05)	4,73"	Média	Aceita	Aceita	Aceita
Colimador Leica (24/05)	2,32"	Média	Aceita	Aceita	Aceita
Colimador Construído	2,92"	Média	Aceita	Aceita	Aceita

QUADRO 4.17 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação vertical na base de laboratório com teodolito T105 N°5

FONTE: a autora (2008)

O quadro 4.18 apresenta os resultados para o teodolito T100 N°726, utilizado durante os testes desta pesquisa.

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)	Hipótese nula (não há erro de índice vertical)
Colimador Leica	6,01"	Média	Aceita	Aceita	Aceita
Colimador Construído	4,79"	Média	Aceita	Aceita	Aceita

QUADRO 4.18 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação vertical base de laboratório com teodolito T100 N°726

FONTE: a autora (2008)

Na avaliação dos dados do quadro 4.18, observa-se uma diferença de 1,22" entre o desvio-padrão observado na base do laboratório com o colimador *Leica* e o colimador construído. Esta variação pode ser considerada irrelevante, já que a precisão nominal do equipamento é de 10". Portanto nas duas situações, a classificação angular de acordo com a NBR 13.133 recai como sendo de média precisão.

As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 10.

O quadro 4.19 apresenta resultados para a estação total TC403L, utilizado durante os testes desta pesquisa.

Equipamento	Precisão no laboratório	Classificação	Hipótese nula ($\sigma_{exp} \leq \sigma_{fab}$)	Hipótese nula (mesma população)	Hipótese nula (não há erro de índice vertical)
Colimador Leica	3,54"	Média	Aceita	Aceita	Aceita
Colimador Construído	4,38"	Média	Aceita	Aceita	Aceita

QUADRO 4.19 - Resultados dos testes de classificação e estatísticos da classificação vertical da base de laboratório com estação total TC403L

FONTE: a autora (2008)

Este equipamento (TC403L) possui precisão nominal de 10" e de acordo com sua classificação na NBR13133 pertence a classe de baixa precisão. Em todos os testes realizados obteve a classificação de média precisão e os resultados dos testes estatísticos foram satisfatórios.

As planilhas geradas pela classificação e testes estatísticos são encontradas no anexo 10.

4.2.7 Testes Simplificados de Classificação Angular Horizontal e Vertical

Estes testes são apresentados pela ISO 17.123-3 como opção para avaliar rapidamente um equipamento quanto a sua classificação angular. Estes testes avaliam o equipamento com um número reduzido de observações sendo constituído de uma única série de observações (30 observações). Portanto, o desvio-padrão experimental calculado se refere a esta única série.

Este teste pode ser útil para avaliar periodicamente os equipamentos, sendo necessária uma verificação completa a posteriori. Porém, a avaliação do equipamento deve ser atentamente analisada, pois alguns fatores, como por exemplo, o treinamento

do observador pode levar a uma classificação errônea. O quadro 4.20, apresenta os resultados obtidos para cada equipamento em duas verificações simplificadas.

Equipamento	Precisão no teste simplificado horizontal	Precisão no teste simplificado vertical	Classificação
Teodolito 105 n4	3,05"	1,80"	Média
Teodolito T100	5,33"	5,40"	Média
Est. Total TC403L	5,25"	2,06"	Média

QUADRO 4.20 - Resultados da classificação vertical da base de laboratório

FONTE: a autora (2008)

De acordo com o que foi demonstrado nos valores da tabela 4.20, o teste simplificado pode indicar uma classificação sem rigor, pois com o número de observações reduzido, em relação ao teste completo, os parâmetros para análise do equipamento podem ficar prejudicados. Para melhor compreensão, se pode analisar o comportamento do teodolito eletrônico T105, que possui precisão nominal de 5". Para o teste da classificação horizontal obteve um desvio-padrão de 3,05" sendo classificado de acordo com a NBR13.133 como de média precisão. Entretanto, no teste da classificação vertical o mesmo equipamento, número 4, obteve um desvio-padrão de 1,80" sendo classificado como de alta precisão. Neste caso, observa-se que o mesmo equipamento enquadrou-se em duas classes de precisão, mas de acordo com sua precisão nominal este equipamento deve ser classificado como média precisão. A justificativa para o caso da classificação vertical, tem-se como indicativo para esta classificação observação em 4 alvos, sendo que na classificação horizontal existem 5 alvos. Portanto, na classificação horizontal são consideradas mais observações do que para a classificação vertical. Cabe ressaltar que o teste simplificado é recomendado para avaliação rápida do equipamento, cabendo ao teste completo a realização da classificação angular do aparelho.

No anexo 11 são apresentados exemplos de testes estatísticos simplificados.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 CONCLUSÕES

Os estudos e experimentos desenvolvidos nesta pesquisa visaram atender as necessidades da comunidade usuária de equipamentos de medição angular, com relação à classificação angular horizontal e vertical baseada na ISO17.123-3. Para isso se propôs desenvolver uma metodologia de baixo custo para a elaboração de um laboratório para este tipo de classificação. Ainda, teve-se como proposta a elaboração de uma metodologia para avaliar a isenção de erros nas graduações de limbos horizontais ou detecção de erros de leitura causados pelo desgaste do equipamento.

Com relação aos resultados apresentados neste trabalho, devem-se salientar alguns aspectos importantes.

Com relação a metodologia proposta para detecção de erros de graduação de limbos, desenvolveu-se o Método da Barra. Com esta metodologia foram testados 6 equipamentos, dos mais diversos modelos. Dentre os testes citados, a metodologia alcançou seu objetivo quando através de seu teste estatístico detectou um problema ocorrido com o teodolito eletrônico T105 N°1. O equipamento vinha sendo usado nas aulas de Topografia normalmente e nunca havia sido detectada tal avaria. Durante a coleta de dados (observações) e no ajustamento das mesmas nada foi observado, apenas com a aplicação do Teste Data Snooping o problema pode ser verificado. O grande número de observações necessárias à aplicação do teste contribui para sua avaliação. Como a avaria comportava-se com um erro sistemático, somente com um grande número de observações pôde ser percebido.

Desta forma, entende-se como satisfatória a implementação da metodologia, pois com sua aplicação pôde-se detectar uma inconsistência no equipamento avaliado, correspondendo às expectativas iniciais da proposta.

Neste caso não foi detectado erro de gravação, mas um erro provocado pelo desgaste do equipamento ocasionado pelo uso contínuo. Cabe lembrar que este equipamento, bem como os demais testados, é utilizado nas aulas de Topografia da UFPR por um grande número de alunos de diversos cursos. Neste caso, trabalhos acadêmicos e de formação profissional foram realizados com estes equipamentos, sem a observância e conhecimento do problema. Dessa forma, cabe ressaltar a importância da avaliação do equipamento periodicamente e este método pode auxiliar os acadêmicos, professores e laboratoristas a identificar possíveis avarias.

Com relação a metodologia proposta para criação de um laboratório de classificação angular horizontal e vertical de equipamentos de medição angular foi necessário um estudo aprimorado dos equipamentos. Esta metodologia foi dividida em duas partes de estudos iniciais: a parte de classificação horizontal e a parte da classificação vertical.

A classificação horizontal foi apoiada pela base de campo e por estudos realizados com a ISO17.123-3. Neste caso os equipamentos foram submetidos a testes de campo e também na base de laboratório construída com colimadores desenvolvidos no laboratório. Portanto, era possível a comparação dos resultados obtidos em ambas classificações e a partir desses resultados construiu-se a base de laboratório, que é constituída por colimadores construídos e por colimadores (marca Leica) especialmente adquiridos para este fim. Para a validação do laboratório realizaram-se testes nas três bases sugeridas e os resultados obtidos consolidam a proposta da metodologia empregada, pois a partir de lunetas de equipamentos com avarias mecânicas, pôde-se construir um colimador eficiente e de baixo custo que forneceu resultados compatíveis com os colimadores adquiridos.

O procedimento de classificação executado no laboratório também mostrou-se eficiente em comparação ao realizado em campo. No laboratório o desgaste do operador é menor em relação ao ambiente de campo. A climatização do ambiente

propicia minimização dos efeitos meteorológicos, além do conforto para tomada das observações.

Nos testes realizados na base de laboratório para classificação angular horizontal, demonstrou-se através dos experimentos com as diferentes iluminações, que este fator pode influenciar na focalização dos retículos e por consequência embutir erros na classificação. Durante os testes observou-se uma diferença entre leituras de até 11” provocado pelas iluminações distintas. Uma diferença dessa magnitude pode resultar nas classificações errôneas de um equipamento. Com isso, evidencia-se a forma criteriosa com que a base de laboratório foi construída.

Uma das questões analisadas foi o próprio operador, pois a acuidade visual do operador pode influenciar na classificação do equipamento. Isto foi comprovado durante os testes com o equipamento T105 N°5 em duas situações diferentes. A primeira ocorreu em uma situação onde o operador estava em meio a uma bateria de testes de classificação. E a segunda situação o operador estava treinado e descansado. No segundo caso o desempenho do operador foi superior, e a classificação obteve um desvio-padrão baixo, ou seja, poucos erros ou equívocos de colimação foram constatados na segunda situação.

Com relação a base de classificação angular vertical, foram necessários mais alguns estudos, pois não existia a possibilidade de comparações como no caso da classificação angular horizontal. Então, teve-se de construir todas as etapas de trabalho para esta questão. A base para classificação angular vertical teve o início de sua implementação após alcançado o desempenho satisfatório da base de classificação horizontal. A ISO 17.123-3 apresenta testes de campo e então adaptou-se esta metodologia ao laboratório. Foram comparados testes com os colimadores construídos e industriais. Em todos os testes os resultados ficaram muito próximos, classificando os equipamentos na mesma categoria de precisão.

Devido a inexistência de uma classificação angular vertical em normas brasileiras, admitiu-se então os mesmos valores e classificação sugeridos pela NBR 13.133 para a classificação angular horizontal.

Com relação a montagem da base de laboratório uma atividade importante e delicada refere-se a orientação dos colimadores. Este trabalho foi realizado para os dois modelos de colimadores utilizados e constitui-se de uma tarefa delicada e árdua. São necessários inúmeros pequenos ajustes para posicionamento adequado dos colimadores. A maior dificuldade foi encontrada na orientação dos colimadores verticais, pois além da orientação do eixo horizontal deve-se ajustar a posição do eixo vertical e ainda do eixo de colimação. Em alguns momentos após a conclusão de orientação do eixo horizontal, observou-se a necessidade de ajuste em função do eixo vertical e do eixo de colimação.

Outro fator importante foi a adequação do filtro dos colimadores construídos. O filtro amarelo foi inicialmente utilizado, porém, com o decorrer dos experimentos percebeu-se certo desconforto ao observador. Então, definiu-se o filtro azul como adequado, pois proporciona melhores condições de observação. Este detalhe é importante, pois cabe lembrar que um teste completo possui 120 observações e tem duração de aproximadamente 1 h e 40 min. Dessa forma, deve-se proporcionar ao operador o máximo conforto possível, para que seu desempenho não decaia durante o processo.

Quanto a utilização do teste simplificado, indica-se sua aplicação para verificações rápida, deixando a cargo do teste completo a tarefa de realizar a classificação angular do aparelho. A indicação do teste completo é baseada no número de observações e nos testes estatísticos a ele aplicado, garantindo a melhor avaliação do aparelho.

Frente a essas considerações pôde-se concluir que o objetivo inicial da proposta de pesquisa foi plenamente atingindo, sendo ao final disponibilizado à

comunidade um laboratório para classificação angular horizontal e vertical de instrumentos de medição angular.

5.2 RECOMENDAÇÕES

Com base nos estudos desenvolvidos neste trabalho são feitas algumas recomendações.

Com relação ao operador, recomenda-se que o mesmo faça alguns ensaios de observação antes do início da classificação. Faz-se esta indicação com base nos experimentos realizados que comprovaram que o operador torna-se hábil após uma primeira série de observações.

Quanto a obtenção das observações para classificação horizontal e vertical, recomenda-se que o operador siga o roteiro de obtenção das leituras de acordo com a figura 3.32 e apresentado no item 3.2.14. Pelos motivos apresentados nas seções pertinentes um arranjo final da distribuição dos colimadores foi definido. Então, recomenda-se ao operador seguir o roteiro de leituras na base horizontal e vertical.

Com relação ao Método da Barra, recomenda-se fixar a barra graduada junto a parede para que seja evitado qualquer movimento lateral da mesma. E ainda para este experimento recomenda-se a instalação de uma iluminação incidente sobre a barra para eliminar dificuldades com a iluminação.

Com relação aos testes simplificados indica-se sua utilização na avaliação periódica dos equipamentos de medição angular de forma superficial e rápida, porém, recomenda-se a aplicação do teste completo nos equipamentos para avaliar a classificação definida pela ISO17.123-3 e pela NBR 13.133.

Para a questão das normatizações, recomenda-se o estudo e primeiras discussões para o desenvolvimento de uma norma brasileira que adeque as questões das classificações angulares em laboratório e principalmente a classificação angular vertical.

Para melhorar o desempenho dos testes recomenda-se automatizar o processo de leitura e processamento dos dados. Esta automação pode acontecer com o

desenvolvimento de um programa que detecte a informação de leitura digital, armazene o processe o dados, emitindo ao final do processo um relatório ou certificado da classificação.

Somando-se a esta automação sugere-se a união das planilhas de classificação angular horizontal e vertical. Este processo pode ser realizado adaptando-se o programa de coleta de dados anteriormente sugerido a coleta de informação horizontais e verticais.

E finalmente, para a melhoria e ampliação do parque de laboratórios da UFPR, sugere-se o desenvolvimento de trabalhos a nível de mestrado para calibração de outros equipamentos, como por exemplo equipamentos mecânicos. A base desenvolvida durante esta tese, pode com algumas adaptações, ser empregada com este fim.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, J. B., **Óptica Geométrica**. Universidade do Minho Departamento de Física

Disponível em: <http://www.arauto.uminho.pt/pessoas/bda/opgeom.html>.

Acesso em 02/12/2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.133: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro, 35 p., 1994.

BLACHUT, T.J., **Urban surveying and mapping**. Springer-Verlag, New York – Heidelberg-Berlin, 372 p., 1979.

BOCZKO, R. **Determinação dos erros de graduação dos círculos graduados do círculo meridiano do observatório “Abrahão de Moraes”**. Dissertação de mestrado pela Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 159 p., 1979.

CINTRA, J.P., **Automação da topografia: do campo ao projeto**. Tese de Livre Docência pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 120 p., 1993.

CUERVO, S.L., **Topografia**. 2ª ed., Editora Mundi-Prensa, Madrid, 474 p., 1996.

DEL VECCHIO, M. **Longa Mira – as Lunetas do Museo Luxottica**. Arte Grafiche Salea, Milão, 126 p., 1995.

DEUMLICH, F., **Survey Instruments**, Editora Walter de Gruyter, Berlin-New York, 316 p., 1982.

DRIGO FILHO, E.; RUGGIERO, J.R., **Lentes**.

Disponível em: <http://www.webfis.df.ibilce.unesp.br/cdf/op/esesf/esesf.html>

< Acesso em 20/09/2005.

DZIERZEGA, A.; SCHERRER, R., **New compact accuracy verification method testing total stations**.

Disponível em:

www.leicaadvantage.com/support/ TPS1200/TechPapers/CompactMethod.pdf
Acesso em 21/09/2005.

ERBA, D.A.; SILVA, C.A.U; SOUZA, G.C; LEANDRO, R.F.; MAIA, T.C.B.; THUM, A.B.; VERONEZ, M.R., **Topografia para estudantes de arquitetura, engenharia e geologia**, Editora do Vale do Rio dos Sinos. Vol. 1, 195p., 2003.

ÉVORA, R.R., **A Revolução Copernicano-Galileana**. Vol. 4, Coleção CLE – Centro de Lógica, Epistemologia e História da Ciência – UNICAMP. Campinas – SP, 189 p. , 1994.

FERRAZ, A.S.; D'ANTONINO, L. C., **Teodolitos e níveis ópticos – verificação de ajustes**.

Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/geodesia-nline/arquivo/conea7/504.pdf>

Acesso em 21/09/2005.

GEMAEL, C. **Introdução ao Ajustamento das observações: Aplicações Geodésicas**, Editora da UFPR, Curitiba, 319p., 1994.

GUALLART, E., **Tratado de Física – Experimental y razonada y nociones de meteorologia y climatologia**. 3ª ed., Casa Editorial Bailly-Bailliere S.A., Madrid, 1123 p., 1945.

INTERNATIONAL STANDARD. **ISO17123-3: Óptics and optical instruments – Field procedures for testing geodetic and surveying instruments – Part 3: Theodolites**. Switzerland, 21p., 2002.

KAHMEN, H.; FAIG, W., **Surveying**, Editora Walter de Gruyter, Berlin-New York, 578p., 1988.

KUANG, S. **Geodetic network analysis and optimal design**, Editora Chelsea A. Arbor, 368p., 1996.

LEICK, A. **Gps satellite surveying** . Editora New York J. Wiley, 560p., 1995.

MEDINA, A.S. **Classificação de teodolitos e estações totais na UFPR**. Dissertação de mestrado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 108 p., 1998.

MILDEX INC, **Collimators**

Disponível em <http://www.mildex.com/index.html>

< acesso em 16/03/2006.

MOFFITT, F. H., **Surveying**, Editora Intext Educational Publishers, New York, 879p., 1975.

MOSCOSO, C.I., **Instrumentación para la Topografía y su cálculo**, Departamento de Formación, Informática y SIG de DIÓPTRA, S.L., Editora Gráficas Lucenses, Lugo, 383p., 2000.

NADAL, C. A., **Protótipo de um alvo para topografia industrial**. Revista Cartografia e Cadastro nº9, Lisboa , dezembro 1998.

NADAL, C. A., **Método da interseção óptica tridimensional aplicado à engenharia de precisão**. Tese de doutorado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 124p., 2000.

NADAL, C. A., JULIANO, K. A., RATTON, E., **Testes estatísticos utilizados para a validação de regressões múltiplas aplicadas na avaliação de imóveis urbanos**. Boletim de Ciências Geodésicas, Curitiba, v. 9, n 2, p.243-262, jul-dez, 2003.

NUNES, D., **Física**. Vol. 2, 4ª ed., Editora Ática S.A., São Paulo, 383 p., 1995.

PACILÉO NETTO,N.; ERWES,H., **Campo de Provas da EPUSP: Calibração e Classificação de Instrumentos Geodésicos**. Anais do VII CONEA, Salvador, p.288-294, 1996.

Disponível em: <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/arquivo/Conea7/>

AREAS.HTM < acesso em 15/09/2005.

PODOBED, V.V. **Fundamental Astrometry**. Chicago and London, The University of Chicago Press, 1965, 227 p.

SANTOS JÚNIOR, G. **Rede gravimétrica: novas perspectivas de ajustamento, análise de qualidade e integração de dados gravimétricos.** Tese de doutorado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 172p., 2005.

SÃO JOÃO, J.C., **Topografia.** Apostila, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba - PR, 141 p., 2004.

TEIXEIRA, N.N., **Análise geodésica de deformações da crosta em regiões de grandes barragens a partir de deslocamentos tridimensionais obtidos pelo sistema de posicionamento global.** Tese de doutorado pela Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 294 p., 2005.

VEIGA, L.A.K; ZANETTI, M.A.Z; FAGGION, P.L., **Fundamentos de topografia.** Apostila, Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geomática, Curitiba – PR, 205 p., 2007.

ANEXOS

Os anexos encontram-se no CD que acompanha a tese.